Journal of Aquaculture Development
Vol. 20, No. 4, 2027, Pages: 49-66
DOI: 10.71901/jad-2026-2-919

REVIEW PAPER **OPEN ACCESS**

Optimal methods for producing monosex populations of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): advantages and limitations

Mansour Sharifian [1*], Mohaddeseh Ahmmadnezhad[2], Youness Abdollahzadeh[3]

1-Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
2-Inland Waters Aquaculture Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Anzali, Guilan, Iran
3-MSc of Fisheries Science and Gorgan University Silences and Natural Resources

Received: 2 December 2025 **Accepted: 1 February 2026**

Extended Abstract:
Introduction: The rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) breeding and rearing industry in Iran is considered the largest aquaculture sector in the country. There is the key challenge of sexual dimorphism and premature puberty in males. So, the occurrence of this phenomenon leads to a severe reduction in growth efficiency and a decrease in pre-harvest product quality. This article reviews global sex control methods including hormonal treatments, chromosomal manipulation (triploid: 3n), and genetic strategies (production of YY super males) and the environmental and technical limitations of the indigenous rainbow trout breeding industry in Iran.

Methodology: This review article is based on a comprehensive analysis of published peer-reviewed papers, conference proceedings, and experimental reports that investigate the methods of monosex rainbow trout production. Studies included were selected based on their relevance to sex control systems in rainbow trout, hormonal and non-hormonal methods of sex control, efficacy of herbal compounds in sex change and complementary genetic tools including gynogenesis and androgenesis. Studies on the creation of monosex in rainbow trout by hormonal induction in Iran were also reviewed to compare their results.

Finding: Research has shown that pure super male (YY) lines are the most sustainable and efficient strategy for commercial mass production due to the assurance of 100% maleness of the population and the maximization of growth efficiency. Triploidy (3n) is also considered an effective technique for absolute sterility, but its successful implementation in Iran is highly dependent on careful management of thermal risks in farms. In contrast, phytochemicals have emerged as safer alternatives to synthetic hormones. Phytochemicals such as isoflavonoids, flavonoids, and saponins, which are compounds with estrogenic/androgenic properties, can be used to alter the sex of fish species, but face serious obstacles in standardizing commercial dosage and stability of active ingredients.

Conclusion: Sustainable production of monosex rainbow trout populations in Iran requires relying on genetic strategies, especially YY super male lines as the most effective option, along with prudent use of

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-919]

triploidy and development of safe alternatives to chemical hormones. The success of these methods will depend on careful management of environmental factors and breeding stresses, as well as directing future research toward advanced breeding, evaluation of genotype-environment interactions, and precision genomic technologies.

Conflict of Interest: There is no conflict of interest between the authors of the article

Acknowledgment: The authors of the article are grateful for the support of their respected colleagues.

Keywords: Rainbow trout, monosex production, supermale (YY), triploidy, phytochemicals, precocious maturation

* *Corresponding Author: sharif_23m@yahoo.com*

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-919]

نشریه توسعه آبزی‌پروری، سال بیستم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۵، صفحه های ۶۶-۴۹
DOI: 10.71901/jad-2026-2-919

"مقاله مروری"

روش‌های بهینه تولید جمعیت تک‌جنس قزل‌آلای رنگین‌کمان: مزیت ها و محدودیت‌ها

منصور شریفیان [۱*]، محدثه احمد نژاد[۲]، یونس عبداله زاده[۳]

۱- موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، تهران، ایران
۲- پژوهشکده آبزی پروری آبهای داخلی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، بندرانزلی، ایران
۳- گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۹/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۲

چکیده

صنعت تکثیر وپرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) در ایران، به‌عنوان بزرگ‌ترین بخش آبزی‌پروری کشورمحسوب می گردد، این صنعت با چالش کلیدی دوشکلی جنسی و بلوغ زودرس ماهیان نر روبه‌رو است بدون شک بروز این پدیده ناخوشایند منجر به کاهش شدید راندمان رشد و افت کیفیت محصول پیش از برداشت می‌گردد. مقاله حاضر، روش‌های جهانی کنترل جنسیت شامل تیمارهای هورمونی، دست‌کاری کروموزومی (تریپلوئیدی 3n) و استراتژی‌های ژنتیکی (تولید ابر نرهای YY) و محدودیت‌های محیطی و فنی صنعت بومی تکثیر ماهی قزل الای رنگین کمان در ایران را مورد بررسی قرار می دهد. تحقیقات نشان داده اند که لاین‌های ابر نر (YY) خالص، به دلیل تضمین ۱۰۰ درصد نر بودن جمعیت و به حداکثر رساندن بهره‌وری رشد، پایدارترین و کارآمدترین راهبرد برای تولید انبوه تجاری هستند. روش تریپلوئیدی نیز به‌عنوان راهکاری مؤثر برای عقیمی مطلق مطرح است، اما اجرای موفقیت‌آمیز آن در ایران به‌شدت به مدیریت دقیق ریسک‌های حرارتی در مزارع وابسته است. در مقابل، گیاه داروها (phytochemical) به‌عنوان جایگزین‌های ایمن‌تر برای هورمون‌های سنتتیک ظهور کرده‌اند، گیاه داروهایی مانند ایزوفلاونوئیدها، فلاونوئیدها و ساپونینها که ترکیباتی با خصوصیات استروژنی/آندروژنی هستند و میتوانند جهت تغییر جنسیت انواع ماهی استفاده شوند اما با موانع جدی در زمینه استانداردسازی دوز تجاری و پایداری ترکیبات فعال مواجه‌اند. روش تولید پایدار جمعیت تک‌جنس قزل‌آلای رنگین‌کمان در ایران، مستلزم تکیه بر راهبردهای ژنتیکی به‌ویژه لاین‌های ابرنر (YY) به‌عنوان مؤثرترین گزینه، همراه با بکارگیری محتاطانه تریپلوئیدی و توسعه جایگزین‌های ایمن به‌جای هورمون‌های شیمیایی است. موفقیت این روش ها در گرو مدیریت دقیق عوامل محیطی و تنش‌های پرورشی و نیز جهت‌دهی پژوهش‌های آینده به سوی به‌نژادی پیشرفته، ارزیابی برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط، و فناوری‌های دقیق ژنومی خواهد بود.

کلمات کلیدی: قزل آلای رنگین‌کمان، تک جنس سازی، ابر نر (YY)، تریپلوئیدی، گیاه دارو، بلوغ زودرس

* عهده‌دار مکاتبات: sharif_23m@yahoo.com

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-919]

مقدمه

قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) به‌عنوان گونه‌ای با نرخ رشد سریع، ارزش غذایی بالا و قابلیت سازگاری گسترده، در صدر تولیدات آبزی‌پروری ایران قرار دارد؛ به‌طوری‌که بر اساس آمار، حجم تولید سالانه این ماهی در سال ۲۰۲۲ از مرز ۱۹۴۰۰۰ تن فراتر رفته است (Salehi *et al*., 2025). علی‌رغم این جایگاه مهم، صنعت پرورش قزل‌آلای رنگین‌کمان با یک معضل تولیدی-اقتصادی کلیدی روبه‌رو است: دوشکلی جنسی (Sexual Dimorphism) و بلوغ زودرس (Precocious Maturation) در ماهیان نر. این پدیده، که از نظر فیزیولوژیک با تخصیص سریع انرژی به سمت گنادها (به‌جای رشد پیکری) همراه است، منجر به کاهش قابل‌توجه ضریب تبدیل غذایی (FCR)، افت کیفیت گوشت (Meat Quality) و کاهش یکنواختی اندازه ماهیان در زمان برداشت می‌شود (Pandian *et al*., 2013). با توجه به حجم تولید ملی، تخمین زده می‌شود که این چالش می‌تواند منجر به زیان‌های اقتصادی میلیون‌ها دلاری در زیرساخت‌های پرورشی ایران گردد، از این رو مدیریت بلوغ در نرها به یک اولویت ملی در تحقیقات شیلاتی تبدیل شده است. در پاسخ به این چالش، تولید جمعیت‌های تک‌جنس (Monosex Populations) به‌عنوان یک استراتژی پیشرفته در اصلاح نژاد و بهبود ژنتیکی آبزیان مطرح شده است. ماهیان تک‌جنس (تمام ماده یا تمام نر) به دلیل حذف فرآیند تولیدمثلی یا استفاده از جنس با نرخ رشد برتر، یکنواختی بالاتری در مزرعه ایجاد کرده و بازده اقتصادی را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهند. در این راستا، روش‌های متعددی از جمله تیمارهای هورمونی (Hormonal Treatments)، دست‌کاری کروموزومی مانند القاء تریپلوئیدی، و روش‌های ژنتیکی پیشرفته مانند تولید ابر نرهای YY در کنار روش های مکمل آزمایشگاهی گاینوژنز/آندروژنز توسعه یافته‌اند (Paykan Heyrati *et al*., 2021). بااین‌حال، کاربرد این روش‌ها با محدودیت‌های اساسی مواجه است. استفاده از استروئیدهای سنتزی در روش‌های هورمونی، نگرانی‌های جدی درباره امنیت غذایی و باقی‌مانده‌های هورمونی در محصولات را به وجود آورده است؛ به‌طوری‌که بسیاری از بازارهای هدف صادراتی، ازجمله اتحادیه اروپا، استفاده از آن‌ها را ممنوع کرده‌اند (Budd *et al*., 2015). از سوی دیگر، اگرچه روش‌های ژنتیکی مؤثرند اما نیازمند مدیریت دقیق و پایش زیست‌امنیتی هستند تا از مخاطرات احتمالی مانند انتشار ژنوم‌های دستکاری‌شده به محیط‌زیست طبیعی جلوگیری شود (Dogan, 2025). علاوه بر این، در ایران فقدان یک پروتکل استانداردشده و بهینه که سازگار با شرایط آب و هوایی محلی و استانداردهای صادراتی باشد، محسوس است.

بنابراین، این مقاله مروری جامع، با هدف رفع این شکاف دانش و ارتقاء صنعت قزل‌آلای ایران، نگاشته شده است. هدف اصلی این پژوهش، بررسی روش‌های موجود برای تولید جمعیت تک‌جنس قزل‌آلای رنگین‌کمان است. به‌طور خاص، این مقاله بر تجربیات محققان این حوزه و ارزیابی مزایا، محدودیت‌ها و چالش‌های مقرراتی هر روش تمرکز خواهد کرد و در نهایت، با معرفی و پیشنهاد روش های بهینه و پایدار (شامل ترکیبی از روش‌های تریپلوئیدی، ژنتیکی و استفاده از گیاه داروهای ایمن) راهکارهایی را جهت بهبود بهره‌وری، تضمین امنیت زیستی و تسهیل ورود

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-919]

محصولات ایرانی به بازارهای بین‌المللی ارائه خواهد نمود.

سیستم های کنترل جنسیت در قزل‌آلا رنگین‌کمان

در ماهی قزل‌آلا رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)، کنترل جنسیت عمدتاً به صورت ژنتیکی و تحت سیستم XY صورت می‌گیرد. جنس ماده هموگامتیک (XX) و جنس نر هتروگامتیک (XY) است، و ژن sdY (sexually dimorphic on the Y chromosome) روی کروموزوم Y نقش کلیدی در تمایز جنسی نر دارد (Yano *et al*., 2012). نشانگرهای ژنتیکی مرتبط با کروموزوم Y امکان شناسایی جنسیت قبل از بلوغ را فراهم می‌کنند، اما خودشان تعیین‌کننده جنسیت نیستند (Kudinov *et al*., 2024). برخلاف برخی گونه‌های دیگر، اگرچه شواهد محدودی از تأثیرات خفیف عوامل محیطی مانند دما در شرایط خاص بر تعیین جنسیت قزل‌آلای رنگین‌کمان گزارش شده است، اما در مقایسه با بسیاری از گونه‌ها، نقش عوامل محیطی در این گونه ناچیز و غیرقابل اتکا تلقی می‌شود (Fraslin *et al*., 2020). سیستم XY با ژن sdY به عنوان مکانیسم اصلی تعیین جنسیت در ماهی قزل‌آلا رنگین‌کمان شناخته شده است (Fraslin *et al*., 2020). بیان ژن sdY در مراحل اولیه رشد گناد (حدود ۳۰ تا ۳۵ روز پس از لقاح) آغاز می‌شود و مسیر تمایز نر را از طریق فعال‌سازی ژن‌های sox9 و dmrt1 هدایت می‌کند، درحالی‌که در ماده‌ها مسیر cyp19a1a و foxl2 غلبه دارد (Vizziano *et al*., 2007). همچنین در برخی جمعیت‌ها جابه‌جایی لوکوس sdY بین کروموزوم‌ها گزارش شده که بیانگر پویایی سیستم‌های جنسی در آزاد ماهیان است (Phillips *et al*., 2013؛ Dogan, 2025).

روش های تولید جمعیت های تک جنس در ماهی قزل الا رنگین کمان

تیمارهای هورمونی در کنترل جنسیت

تیمارهای هورمونی یکی از رایج‌ترین و عملی‌ترین روش‌ها برای تولید جمعیت‌های تک‌جنس در قزل‌آلای رنگین‌کمان به شمار می‌آیند. تاریخچه استفاده از تیمارهای هورمونی از دهه ۱۹۳۰ با استفاده از عصاره هیپوفیز (CPE) برای القاء تخم‌ریزی شروع شد (Houssay, 1930). با توسعه هورمون‌های سنتتیک و آگونیست‌های GnRH، کارایی و قابلیت کنترل در مداخلات هورمونی به‌طور چشمگیری افزایش یافت، و به‌موازات آن، کاربرد آندروژن‌هایی نظیر ۱۷- الفا متیل تستوسترون برای تغییر جنسیت و تولید نرهای معکوس XX به‌منظور دستیابی به جمعیت‌های تمام ماده در قزل‌آلای رنگین‌کمان از دهه‌های میانی قرن بیستم به‌صورت گسترده رواج یافت (Piferrer, 2001). این روش‌ها به دو دسته مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند (Budd *et al*., 2015). در رویکرد مستقیم، هورمون‌ها به لارو یا بچه‌ماهی در دوره حساس تمایز جنسی (labile period) داده می‌شوند. برای گونه‌هایی مانند قزل‌آلای رنگین‌کمان که این دوره از جنین‌زایی تا پس از هچ طولانی است، دوزهای چندگانه استروئید مؤثرتر از دوز واحد است (Piferrer and Donaldson, 1989; Feist *et al*., 1995; Budd *et al*., 2015). استفاده از استروژن‌ها مانند ۱۷- الفا اتینیل استرادیول (EE2) از طریق خوراک (۲۰-۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به مدت ۳۰ روز یا حمام کوتاه‌مدت (۴۰۰ میکروگرم بر لیتر

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.71901/jad-2026-2-919]

برای ۲-۱ ساعت) توانسته است جمعیت‌های تمام‌ماده با نرخ موفقیت ۹۳-۷۳ درصد تولید کند (Naji *et al*., 2010؛ Razmi *et al*., 2011). این روش ساده و کم‌هزینه است، اما باقی‌مانده هورمون در بافت ماهی، خطر ناهنجاری‌های کروموزومی، انحراف نسبت جنسیت به سمت غیرهدف و پیامدهای زیست‌محیطی از محدودیت‌های آن محسوب می‌شوند (Corsi *et al*., 2001; Budd *et al*., 2015). در روش غیر مستقیم، آندروژن‌ها مانند ۱۷-α متیل‌تستوسترون (MT) در دوزهای ۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم به مدت ۷۰ روز قادرند تا حدود ۱۰۰ درصد جمعیت‌های تمام‌نر را در ماهیان قزل آلای بومی و ۵۳ درصد تمام نر در قزل آلاهای وارداتی ایجاد کنند (Rastiannasab and Kazemi, 2022). مطالعات مبتنی بر «درجه‌روز» نیز نشان داده‌اند که استفاده خوراکی از MT در دوره‌های طولانی‌تر (۵۰۰-۷۰۰ درجه - روز) می‌تواند منجر به تشکیل جمعیت تقریباً کامل نر در ماهیان جوان و حفظ پایداری این اثر در ماه‌های بعد شود (Guiguen *et al*., 2018; Rastiannasab and Kazemi, 2022) در رویکرد غیرمستقیم، هدف تولید مولدین نر عملکردی (نئومیل: neomale XX) است. این نئومیل ها سپس با ماده‌های طبیعی (XX) جفت‌گیری کرده و در نسل بعد جمعیت‌های تمام‌ماده (XX) بدون نیاز به هورمون تولید می‌شود. رویکرد غیرمستقیم به دلیل کاهش چشمگیر باقی‌مانده هورمون، حذف کامل پساب هورمونی و افزایش ایمنی زیستی، می تواند به‌عنوان یک روش بهینه در مزارع تجاری استفاده شود (Paykan Heyrati *et al*., 2021). با وجود کارآمدی بالا، تنظیم دقیق زمان‌بندی، دوز و مسیر تجویز (خوراک، غوطه‌وری یا تزریق) ضروری است تا از بروز بیناجنسی، عقیمی، کاهش کیفیت اسپرم یا ناهنجاری‌های اسکلتی جلوگیری شود (Budd *et al*., 2015). هرچند مقادیر استروئید استفاده شده در تیمارهای هورمونی بسیار کم و نیمه عمرشان نیز کوتاه است (Hosseinzadeh Sahafi, 2015) اما گزارش های متعددی از تاثیرات منفی استفاده از آنها در گونه هایی از ماهیان بویژه در مراحل لاروی وجود دارد (Paykan Heyrati *et al*., 2021). در اتحادیه اروپا کاربرد هورمون برای بچه ماهیان ممنوع است و فقط برای مولدین مجاز است؛ ایران نیز باید پروتکل‌های مشابهی برای صادرات به اتحادیه اروپا تدوین کند (Budd *et al*., 2015). بنابراین، استفاده از این روش همراه با پروتکل‌های ارزیابی کیفیت گامت‌ها، پایش بهداشتی، مدیریت پساب هورمونی و جایگزینی تدریجی با روش‌های ژنومی برای اجرای پایدار و ایمن توصیه می‌شود (Lee *et al*., 2010). در مجموع، تیمارهای هورمونی با اثربخشی بالا و قابلیت اجرای صنعتی، گزینه‌ای عملی برای تولید جمعیت‌های تک‌جنس هستند، هرچند محدودیت‌های زیست‌محیطی و مقرراتی باید با رویکرد غیرمستقیم و ترکیب با تریپلوئیدی برطرف شوند (Rastiannasab and Kazemi 2022; Basavaraju, 2023).

استراتژی‌های ژنتیکی: تولید نرّینه‌های برتر (YY)

تولید نرّینه‌های برتر یا ابر نر (Supermales YY) در قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) به‌عنوان کارآمدترین استراتژی ژنتیکی شناخته می‌شود که امکان تشکیل نسل‌های تقریباً تمام‌نر (XY) را در مقیاس تجاری و بدون نیاز به تیمار هورمونی مستقیم در

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-919]

ماهیان مصرفی فراهم می‌سازد. این رویکرد، پایداری برنامه اصلاح نژاد را تضمین کرده و مخاطرات بهداشتی و زیست‌محیطی تیمارهای استروئیدی را به حداقل می‌رساند. محوریت این استراتژی بر پایه وجود ژن تعیین‌کننده جنسیت در کروموزوم Y (sdY) قرار دارد (Okutsu *et al*., 2015). این ژن به‌عنوان یک سوئیچ مولکولی عمل کرده و در مراحل اولیه تمایز گناد، مسیر تولید تستوسترون را فعال و مسیر استروژن‌سازی را سرکوب می‌کند. ماهیان ابرنر (YY) حامل دو دوز از این ژن تعیین‌کننده جنسیت هستند و قادرند منحصراً اسپرم‌های حامل کروموزوم Y تولید کنند (Kowalski *et al*., 2011)؛ بنابراین، هنگامی که این مولدین (YY) با ماده‌های عادی (XX) تلاقی داده می‌شوند، تمامی نتاج دارای ژنوتیپ XY (تمام‌نر) خواهند بود (Phillips *et al*., 2013).

مطالعات نشان داده‌اند که نرهای YY قابلیت تولید اسپرم با کیفیت مقایسه‌پذیر با نرهای XY را دارند، که این امر کارایی فرآیند نسل‌گیری را تضمین می‌کند (Dogan, 2025). تولید مولدین YY در طبیعت امکان‌پذیر نیست و مستلزم استفاده از یک نسل واسط از طریق دست‌کاری است. متداول‌ترین و کاربردی‌ترین روش در مقیاس تجاری، رویکرد هورمونی غیرمستقیم است. در این فرآیند، بچه ماهیان در معرض هورمون های ماده ساز نظیر ۱۷-بتا استرادیول قرارگرفته و در نتیجه این تاثیر جمعیتی از ماده هایی با فنوتیپ ماده و ژنوتیپ نر (XY) و ماده های طبیعی (XX) حاصل خواهد شد. از تلاقی نرهای فنوتیپی ماده (XY) با نرهای عادی (XY)، نسلی با ترکیب ژنتیکی XX، XY و YY ایجاد می‌شود که YYهای حاصل پس از تأیید ژنتیکی، به‌عنوان مولد اصلی تمام‌نر به کار می‌روند (Kowalski *et al*., 2011؛ Okutsu *et al*., 2015).

روش‌های جایگزین شامل آندروژنزیس (Androgenesis) است که در آن ژنوم مادری غیرفعال و تخمک تحت شوک قرار می‌گیرد تا ژنوتیپ YY ایجاد شود و همچنین روش انتقال سلول‌های زایشی (Germ Cell Transplantation) که می‌تواند YY بارور را بدون نیاز به هورمون‌درمانی تولید کند. بااین‌حال، کاربرد تجاری این دو روش آخر به دلیل راندمان پایین و پیچیدگی‌های فنی، محدودتر است (Okutsu *et al*., 2015). استفاده موفقیت‌آمیز و پایدار از استراتژی YY نیازمند یک برنامه مدیریت ژنتیکی سخت‌گیرانه است. مهم‌ترین چالش، خطر هم‌خونی (Inbreeding Depression) است که از اتکا به تعداد محدودی از مولدین YY نشئت گرفته و می‌تواند منجر به کاهش تنوع ژنتیکی و افت عملکرد زیستی در نسل‌های تمام‌نر (XY) گردد (D'ambrosio *et al*., 2019). چالش دیگر، نیاز به دقت ژنوتیپی است؛ به‌طوری‌که خطای احتمالی در تشخیص YY می‌تواند خط تولید تمام‌نر را آلوده سازد. از نظر ریسک زیست‌امنیتی نیز، باید به مخاطره انتشار غیرمترقبه ماهیان YY به محیط‌های طبیعی توجه شود، زیرا این اتفاق می‌تواند ساختار جمعیتی و نسبت جنسی گونه‌های وحشی را تهدید کند (Gutierrez *et al*., 2006). در جمع‌بندی، ملاحظات و راهکارهای مدیریتی برای تضمین پایداری و ایمنی این استراتژی ژنتیکی به شرح جدول ۲ ارائه شده است.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-919]

جدول ۱: مطالعات ایجاد تک جنس در ماهی قزل آلای رنگین کمان با القای هورمونی در ایران

Table 1: The study of monosex in rainbow trout using hormonal induction in Iran.

Hormone	Results	Reference
17α-methyltestosterone (MT)	The use of 2 mg /kg in feed resulted in 76.67% male, 10% intersex and 13.33% female.	Irani *et al*., 2023
17α-methyltestosterone (MT)	Using a dose of 3 mg /kg of larvae feed from the beginning of active feeding for 70 days were produced 100% and 53% of all-male population in native trout and imported trout, respectively.	Rastiannasab and Kazemi, 2022
17α-methyltestosterone (MT)	0.5 ppm oral administration to the larvae from the start of active feeding for 60 days led to the production of 100% male	Amini and Tala, 2003
17α- ethinylestradiol (EE2)	The immersion of freshly hatched larvae in the bath containing 400 µg/lit for 2 hours led to the production of 94% female	Razmi *et al*., 2011
17α- ethinylestradiol (EE2)	Oral administration of 20 mg /kg in feed to the larvae three days after active swimming for 30 days resulted in the production of 94.3% female	Razmi *et al*., 2011
17α- ethinylestradiol (EE2)	Immersion of the larvae in the absorption of yolk stage in the bath containing 400 µg/lit for 2 hours led to the production of 94.4% female	Naji *et al*., 2010

جدول ۲: چالش‌های ژنتیکی و راهکارهای مدیریت ریسک در استراتژی تولید ابر نرهای YY در قزل‌آلای رنگین‌کمان

Table 2: Genetic challenges and risk management solution in YY supermale production strategy in rainbow trout

Main challenge	Genetic outcome	Genetic management solution	Reference
Inbreeding Depression	Decreased genetic diversity and decline in biological function (such as growth rate and disease resistance in all-male (XY) generations due to reliance on limited YY broodstocks (D'ambrosio *et al*., 2019).	Establishing and maintaining several separate YY lines from diverse genetic resources and continuous monitoring of the inbreeding coefficient using advanced molecular markers such as microsatellites or SNPs to maintain biological function.	D'ambrosio *et al*., 2019; Kowalski *et al*., 2011
Genotypic accuracy	Possible error in detecting YY leading to contamination of all-male production line with female fish.	Molecular verification of 100% YY generatios with Y-linked genetic markers (such as OmY1) and definitive diagnosis of two doses of the sdY gene before entering the commercial proliferation cycle.	Phillips *et al*., 2013
Biosecurity risk	Risk of propagation of the manipulated genome and the phenomenon "Trojan-Y" threatening the demographic structure and sex ratio of wild species.	Strict application in closed and restricted breeding systems (such as RAS) and the implementation of strict biosecurity protocols to prevent any unexpected emmissions into open waters.	Gutierrez *et al*., 2006

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-919]

دست‌کاری کروموزومی و القای تریپلوئیدی

القای تریپلوئیدی (3n) یکی از پرکاربردترین و اثربخش‌ترین روش‌های غیرهورمونی برای تولید جمعیت‌های عقیم در قزل‌آلای رنگین‌کمان است؛ تریپلوئیدها دارای سه مجموعه کروموزومی‌اند و به‌دلیل آشفتگی در تقسیم دوم میوز، باروری عملکردی ندارند، بنابراین انرژی متابولیک که در دیپلوئیدها صرف رشد و فعالیت گنادها می‌شود، در تریپلوئیدها به رشد سوماتیک و ساخت بافت‌های تجاری اختصاص می‌یابد (Bazaz *et al*., 2025). در ایران، روش غالب القای تریپلوئیدی مبتنی بر شوک حرارتی کوتاه‌مدت (Heat Shock) است که بلافاصله پس از لقاح اعمال می‌شود. این فرآیند، با جلوگیری از خروج دومین گویچه قطبی از تخمک، منجر به حفظ یک مجموعه کروموزومی اضافی از مادر و ایجاد ژنوتیپ 3n می‌شود. استانداردسازی پروتکل شوک در شرایط بومی ایران، یک الزام حیاتی است؛ مطالعات میدانی نشان داده‌اند که پارامترهای کلیدی شامل دمای شوک، مدت زمان، و فاصله زمانی دقیق از لقاح تا اعمال شوک، تعیین‌کننده بازده تریپلوئیدی و بقای جنینی هستند. نمونه هایی از مطالعات انجام شده در ایران با موفقیت القای تریپلوئیدی بالای ۷۵ درصد در جدول ۳ ارائه شده است که در این میان، بیشترین نرخ تریپلوئیدی (۱۰۰ درصد) در تیمار ۲۶ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۰ دقیقه و در بازه ۴۰ دقیقه پس از لقاح گزارش شده است (Azari Takami *et al*., 1997). به‌طور خاص، از جدید ترین مطالعات انجام شده در جهان، بیشترین نرخ تریپلوئیدی (تقریباً ۷۶/۶ درصد) در تیمار ۲۸ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۰ دقیقه و در بازه ۲۰ دقیقه پس از لقاح گزارش شده است، اما هرگونه انحراف از این پارامترهای بهینه با کاهش معنی‌دار باروری، درصد هچ و بقای مراحل ابتدایی جنینی همراه بوده است، نکته‌ای که نشان می‌دهد آثار نامطلوب عمدتاً ناشی از شدت و زمان‌بندی شوک است نه صرفاً وضعیت کروموزومی (Bazaz *et al*., 2025).

از منظر مولکولی و بیوشیمیایی، آنالیزهای پروتئومیک تخم‌های تحت شوک حرارتی نشان‌دهنده کاهش معنی‌دار مشتقات ویتلوژنین (VTG) است که منجر به کاهش ذخایر تغذیه‌ای جنینی و افزایش آسیب‌پذیری پوسته تخم می‌شود. این تغییرات مولکولی، کاهش بقای مراحل اولیه در تیمارهای حرارتی نامناسب را توجیه می‌کند. علاوه بر این، مطالعات فیزیولوژیک و ایمنی‌شناختی نشان می‌دهند که اگرچه بقای مراحل اولیه جنینی در تریپلوئیدها می‌تواند کاهش یابد، اما بقای بچه‌ماهی در بسیاری از گزارش‌ها مشابه دیپلوئیدها است. از نظر پاسخ به استرس، افزایش اندازه هسته و تغییرات هماتولوژیک (اندازه گلبول قرمز) به‌عنوان شاخص‌های تشخیصی پلوئیدی (Babaheydari *et al*., 2016) و همچنین افزایش نسبی سطح کورتیزول پایه در برخی مطالعات، نشان‌دهنده حساسیت بالاتر تریپلوئیدها به تنش‌های محیطی است (Mahmoudi *et al*., 2025). بااین‌حال، شاخص‌های ایمنی پایه مانند لیزوزیم و فعالیت کمپلمان (ACH50) معمولاً تفاوت معنی‌داری نشان نداده‌اند و در مواردی مانند IgM افزایش نیز مشاهده شده، که بیانگر عدم ضعف پایدار در سیستم ایمنی است (Salimian *et al*., 2016).

در رابطه با تغذیه و متابولیسم، مطالعات اخیر بین‌المللی (Liu *et al*., 2023) نشان داده‌اند که تریپلوئیدهای بالغ می‌توانند با تغییرات گسترده در سطح

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.71901/jad-2026-2-919]

لیپید جیره سازگار شوند. این ماهیان با هماهنگ‌سازی مسیرهای متابولیک در کبد، بافت چربی و عضله، هموستازی لیپیدی را در رژیم‌های با سطوح لیپید متغیر حفظ می‌کنند که استفاده از جیره‌های نسبتاً پرلیپید را در تولید تجاری آن‌ها قابل دفاع می‌سازد. با این وجود، بهینه‌سازی تغذیه‌ای باید با پایش واکنش‌های متابولیک و سلامت کلی ماهی در شرایط پرورشی ایران انجام شود (جدول ۳).

جدول ۳: مطالعات القای تری پلوئید در ماهی قزل آلای رنگین کمان در ایران

Table 3: Triploid induction studies in rainbow trout in Iran

Induction method	Results	Reference
Thermal shock	The heat shock of 26.5 °C for 12 min at 20 min after fertilization led to 87% triploity with 66.6% hactch rate	Irani, 2023
Thermal shock	The highest rate of triploidy (98%) with a heat shock of 28°C at a time of 40 minutes after fertilization for 10 min, with a survival rate of 72% and a deformity of 10.75% and the highest rate of survival (81%) with a heat shock 26°C at 20 min after fertilization for 20 min led to 76% triploity and 7.65% deformity	Zargham *et al*., 2022
Thermal shock	The heat shock of 28 °C for 10 min at 10 min after fertilization led to 87.1% triploity with 93.14% survival rate	Babaheydari *et al*., 2018
Thermal shock	The heat shock of 26°C for 10 min at 28 min after fertilization led to 80% triploity with 78.42% survival rate	Yaghoubi *et al*., 2012
Thermal shock	The highest rate of triploidy (100%) with a heat shock of 26°C at a time of 40 minutes after fertilization for 10 min, with a survival rate of 65.87%	Azari Takami *et al*., 1997

الزامات استانداردسازی و الگوهای بهینه

شواهد کلی نشان می‌دهد که باوجود ضعف های اجرایی در روش القای تریپلوئیدی در ایران از جمله: بازماندگی نسبتا کم، ظهور گناد در برخی از تیمارها و زمانبر بودن تایید نتاج حاصل از تریپلوئیدی، این روش به‌عنوان روشی کارآمد و زیست‌حساس قابل اجرا است؛ اما برای دستیابی به خلوص بیش از ۹۸ درصد و اطمینان از کیفیت محصول صادراتی، صنعت ایران نیازمند الزامات زیر است: ۱. استانداردسازی پروتکل شوک: اجرای طرح‌های دوز–پاسخ محلی در هر مرکز تکثیر برای کالیبره کردن زمان آغاز شوک (T_0) با توجه به کیفیت تخم و دمای محیط. ۲. تأیید پلوئیدی: استفاده از فلوسیتومتری (Flow Cytometry) به‌عنوان استاندارد طلایی (Gold Standard) برای تأیید خلوص و اندازه‌گیری مورفومتریک RBC به‌عنوان ابزار سریع مزرعه‌ای، برای پایش مستمر کیفیت (Babaheydari *et al*., 2016). این اقدامات، تعادل مطلوب بین بازده تریپلوئیدی و حداقل پیامدهای فیزیولوژیک را تضمین می‌کند.

کارایی ترکیبات گیاهی در تغییر جنسیت

استفاده از استروئیدهای سنتتیک طی دهه‌های گذشته روش غالب در القای تغییر جنسیت و تولید ماهیان تک‌جنس در صنعت آبزی‌پروری بوده است. با این حال، نگرانی‌های روبه‌افزایش درباره اثرات زیست‌محیطی، پایداری شیمیایی، سمیت تجمعی و

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-919]

ریسک باقی‌مانده‌های هورمونی در بافت، موجب شده است که پژوهشگران به سمت جایگزین‌های طبیعی، ایمن‌تر و سازگارتر با محیط زیست حرکت کنند (Abdollahzadeh *et al*., 2025). در این میان، ترکیبات گیاهی یا گیاه داروها به‌دلیل برخورداری از فیتواستروژن‌ها، فیتوآندروژن‌ها و ترکیبات تنظیم‌کننده مسیرهای استروئیدزایی، پتانسیل قابل‌توجهی برای اثرگذاری بر تمایز جنسی ماهیان از خود نشان داده‌اند. این ترکیبات به‌طور هدفمند، مسیر تمایز جنسی را در جهت مورد نظر هدایت می‌کنند. اساس مولکولی این مکانیسم‌ها، غالباً تنظیم فعالیت آنزیم کلیدی آروماتاز (Aromatase یا CYP19A1a) است. آروماتاز، آنزیمی حیاتی در مسیر استروئیدوژنز، مسئول تبدیل آندروژن‌ها (تستوسترون) به استروژن‌ها (استرادیول) است. گیاه داروهای القاکننده نرشدن (مانند ساپونین‌های موجود در گیاه خارخاسک *Tribulus terrestris* و فیتواستروئیدهای موجود در گیاه *Mucuna pruriens* با مهار فعالیت CYP19A1a، تعادل هورمونی را به نفع تستوسترون تغییر می‌دهند و تمایز گنادها را به سمت بیضه (Testis) سوق می‌دهند. بررسی‌های انجام‌شده بر قزل‌آلای رنگین‌کمان نشان می‌دهد که برخی عصاره‌های گیاهی قادرند بدون پیامدهای جانبی گسترده هورمون‌های سنتتیک، نسبت جنسی را به‌نفع نرشدن تغییر دهند. در یکی از مطالعات، اثر عصاره گیاه *M. pruriens* و *Basella alba* بر لاروهای ۱۵ روزه قزل‌آلا ارزیابی شد که تیمار حاوی عصاره *M. pruriens* (۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) توانست میزان نرشدن قابل‌توجهی در حدود ۶۲ درصد ایجاد کند، در حالی‌که بروز بیناجنسی در این تیمار به‌مراتب کمتر از گروه تیمار شده با MT بود (Hajibeglou *et al*., 2023). در پژوهشی دیگر، کارایی دو عصاره گیاهی خارخاسک *T. terrestris* و مارچوبه *Asparagus racemosus* با MT و لتروزول مقایسه شد، که ترکیب برابر این دو عصاره در دوز ۴۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم جیره موفق شد نسبت نر ایجادشده‌ای مشابه هورمون‌های قوی مانند لتروزول (۱۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم) و MT تولید کند، که این نتایج فرضیه مهار آنزیم آروماتاز یا افزایش فعالیت فیتوآندروژن‌ها را تقویت می‌کند (Hajibeglou *et al*., 2024). افزون بر این، در یک مطالعه مستقل، دوزهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم عصاره *T. terrestris* به‌ترتیب ۵۵ تا ۶۳ درصد نر تولید کردند که حتی اندکی بهتر از تیمار تستوسترون سنتتیک بود (۵۱–۵۳ درصد). نتایج بافت‌شناسی نیز هیچ نشانه‌ای از آسیب گنادی یا اختلال در روند تمایز اولیه نشان نداد و در دوز ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم، افزایش رشد اولیه در لاروها مشاهده شد (Yilmaz *et al*., 2013).

شواهد موجود نشان می‌دهد که استفاده از عصاره‌های گیاهی مذکور می‌تواند نسبت جنسی قزل‌آلای رنگین‌کمان را به نفع نرشدن تغییر دهد، بدون ایجاد اختلالات بافتی یا کاهش رشد و بقای ماهیان. این ویژگی‌ها، همراه با کاهش بروز بیناجنسی، این روش را به گزینه‌ای کم‌خطر و سازگار با محیط زیست برای توسعه راهبردهای نوین تک‌جنس‌سازی در پرورش تجاری قزل‌آلا رنگین‌کمان تبدیل کرده است. با این حال، برای کاربرد تجاری در ایران، نیاز به تمرکز بر پایداری و تعیین دوز دقیق مولکول‌های فعال بیولوژیکی در جیره‌های تجاری و ارزیابی بلندمدت پیامدهای فیزیولوژیک وجود دارد، به‌ویژه به دلیل تغییرپذیری زیاد در محتوای ترکیبات فعال گیاهی بر اساس منطقه

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.71901/jad-2026-2-919]

جغرافیایی، زمان برداشت و روش عصاره‌گیری. استانداردسازی (Standardization) محتوای این ترکیبات برای اطمینان از خلوص و کارایی آن‌ها، پیش‌نیاز حیاتی برای پذیرش تجاری و ورود این محصولات به بازار صادرات است.

عوامل محیطی و اپی‌ژنتیک

تعیین جنسیت در قزل‌آلای رنگین‌کمان عمدتاً ژنتیکی (XX/XY) و تحت کنترل ژن sdY است (Yano *et al*., 2012). بااین‌حال، شواهد علمی نشان می‌دهند که عوامل محیطی می‌توانند به‌عنوان تعدیل‌کننده‌های اپی‌ژنتیک عمل کرده و کارایی استراتژی‌های تک‌جنس‌سازی را تحت تأثیر قرار دهند. بررسی نقش این عوامل، به‌ویژه در شرایط پرورشی متراکم ایران، برای تضمین بازده اقتصادی اهمیت حیاتی دارد.

اگرچه سیستم تعیین جنسیت در قزل‌آلا از نوع وابسته به دما نیست، اما حساسیت محیطی در برخی پس‌زمینه‌های ژنتیکی خاص مشاهده شده است. برای مثال، در جمعیت‌های تمام ماده (XX) حامل جهش مغلوب mal، افزایش دمای پرورشی تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد، نرخ نرزایی را تقریباً دو برابر کرد و با افزایش شیوع بیناجنسی همراه بود، که شدت آن به‌وضوح به زمینه ژنتیکی خانواده وابسته بود (Yano *et al*., 2012). در این موارد، تغییر دما احتمالاً با تأثیر بر بیان ژن‌های تنظیم‌کننده استروئیدزایی (مانند آنزیم آروماتاز) در دوره بحرانی تمایز، تعادل هورمونی را به‌صورت موقت تغییر می‌دهد. مطالعات دیگر نیز اثر افزایش دمای اولیه رشد (۵+ درجه سانتی‌گراد از لقاح تا جذب کیسه زرده) را بررسی کردند و نشان دادند که نسبت نرها کمی افزایش یافت، اما تغییر جنسیت ژنتیکی رخ نداد و ژنوتیپ Y (Omy Y1) در ۹۹ درصد موارد با فنوتیپ گناد مطابقت داشت. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که دما در قزل‌آلا تنها یک تعدیل‌کننده با اثر محدود و وابسته به ژنوتیپ است و نه عامل اصلی تعیین جنسیت. بااین‌حال، مدیریت دما در جمعیت‌های تریپلوئید (3n) حیاتی است، زیرا ماهیان عقیم به‌طور عمومی تحمل حرارتی پایین‌تری نسبت به دیپلوئیدها نشان می‌دهند و نوسانات دمایی می‌تواند به‌طور ناخواسته، بقای این جمعیت‌ها را در طول فصل گرما کاهش دهد (Cole *et al*., 2021).

سایر پارامترهای محیطی مانند فتوپریود، اکسیژن محلول و pH شواهد تجربی کافی برای تأثیرگذاری مستقیم بر تمایز جنسی در این گونه ندارند، اما به‌طور قطع بر موفقیت بلندمدت استراتژی‌های تک‌جنس‌سازی تأثیر می‌گذارند. تراکم بالای ذخیره‌سازی و تنش مزمن (Chronic Stress)، که مشخصه بسیاری از سیستم‌های پرورشی است، منجر به افزایش پایدار سطح هورمون کورتیزول در ماهی می‌شود. کورتیزول می‌تواند به‌طور مستقیم بر محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-گناد (HPG axis) تأثیر گذاشته و بلوغ زودرس نرهای XY و YY را تسریع کند (Castañeda Cortes *et al*., 2020). این پدیده، مزیت اختصاص انرژی به رشد پیکری را که هدف اصلی تولید تمام‌نر است، خنثی می‌کند. بنابراین، برای اجرای موفقیت‌آمیز استراتژی‌های YY و تمام‌نر، پایش مستمر شاخص‌های استرس و حفظ تراکم بهینه به‌منظور به حداقل رساندن تنش فیزیولوژیک در محیط پرورشی، یک الزام مدیریتی است.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-919]

کیفیت نامناسب آب (مانند سطح پایین اکسیژن محلول یا افزایش آمونیاک) بار متابولیکی ماهی را افزایش می‌دهد و انرژی موردنیاز برای رشد را به سمت مقابله با استرس سوق می‌دهد (Wendelaar Bonga, 1997). همچنین، در مزارعی که از گیاه داروها استفاده می‌کنند، عواملی مانند pH و مواد آلی موجود در آب می‌توانند بر پایداری ترکیبات فعال بیولوژیکی در جیره و راندمان جذب آن‌ها توسط ماهی تأثیر بگذارند و در نتیجه، بازده تغییر جنسیت مورد انتظار را تعدیل کنند (Tacon *et al*., 2009). در مجموع، موفقیت هر استراتژی تک‌جنس‌سازی (چه ژنتیکی و چه تغذیه‌ای) در قزل‌آلای رنگین‌کمان، نیازمند کنترل و ثبات پارامترهای محیطی است تا تأثیرات مخرب تنش بر فیزیولوژی و رشد ماهی به حداقل برسد.

ابزارهای ژنتیکی مکمل: گاینوژنز و آندروژنز

روش‌های گاینوژنز (Gynogenesis) برای تولید تمام ماده و آندروژنز (Androgenesis) برای تولید تمام نر، از طریق حذف یا غیرفعال‌سازی ماده ژنتیکی ناخواسته و به دنبال آن مضاعف‌سازی کروموزومی، ابزارهای قدرتمندی برای کنترل جنسیت هستند (Pandian, 2013). بااین‌حال، استفاده از این روش‌ها برای تولید انبوه تجاری ماهی خوراکی در قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌دلیل دشواری فنی، نیاز به پرتودهی گامت‌ها و بقای پایین نتاج، مقرون‌به‌صرفه نیست و عمدتاً جایگاه آن‌ها در برنامه‌های به‌نژادی و تحقیقات ژنتیکی پیشرفته تثبیت شده است. مهم‌ترین کاربرد گاینوژنز در تولید هاپلوئیدهای مضاعف (DHs) است که خطوطی کاملاً هموزیگوت هستند؛ این خطوط خالص ژنتیکی، ابزاری ضروری برای نقشه‌برداری ژنی (Gene Mapping)، شناسایی مکان‌های صفت کمی (QTLs) و سرعت بخشیدن به برنامه‌های گزینش صفات اقتصادی حیاتی (مانند مقاومت به بیماری) محسوب می‌شوند (Ocalewicz, 2024؛ Ocalewicz *et al*., 2024؛ Ocalewicz *et al*., 2020). در مقابل، آندروژنز به‌عنوان یک آزمون بیولوژیکی قطعی عمل کرده و نقشی حیاتی در تولید و تأیید لاین‌های خالص سوپرنر (YY) دارد؛ به‌گونه‌ای که تولید نتاج ۱۰۰ درصد نر از طریق آندروژنز، ژنوتیپ YY نر والد را به‌صورت قطعی تأیید می‌کند (Okutsu *et al*., 2015). چالش کلیدی در هر دو روش، دستیابی به دوز مؤثر پرتودهی (توسط UV یا گاما) برای غیرفعال‌سازی هسته گامت ناخواسته است؛ زیرا دوز ناکافی منجر به نتاج ناخواسته هیبرید و دوز بیش از حد سبب افزایش تلفات و آسیب‌های کروموزومی می‌شود (Polonis *et al*., 2019). بنابراین، این روش‌ها به‌عنوان فناوری‌های پشتیبان و نه استراتژی‌های تولید انبوه، برای موفقیت طولانی‌مدت سایر روش‌های تک‌جنس‌سازی، ضروری هستند.

نتیجه گیری نهایی

این مقاله با رویکردی تحلیلی، راهبردهای تولید جمعیت تک‌جنس در قزل‌آلای رنگین‌کمان را با هدف کنترل دوشکلی جنسی و مهار بلوغ زودرس بررسی کرده و نتیجه می‌گیرد که برای دستیابی به بهره‌وری اقتصادی پایدار، تمرکز اصلی باید بر روش‌های ژنتیکی و کروموزومی باشد. کارآمدترین گزینه صنعتی، تولید جمعیت تمام‌نر از طریق لاین‌های خالص سوپرنر (YY) است که با تضمین صددرصد نر بودن نسل اول، بیشترین یکنواختی و راندمان رشد را فراهم می‌کند، در

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.71901/jad-2026-2-919]

حالی‌که تریپلوئیدی (3n) روشی معتبر برای القای عقیمی کامل است اما به دلیل تحمل فیزیولوژیک پایین‌تر در برابر تنش‌های حرارتی و کمبود اکسیژن، نیازمند مدیریت محیطی دقیق‌تر است. رویکردهای هورمونی شیمیایی به سبب دغدغه‌های ایمنی غذایی و زیست‌محیطی رو به افول‌اند و گیاه‌داروها به‌عنوان جایگزین‌های بالقوه مطرح شده‌اند، هرچند چالش‌هایی مانند نبود استاندارد دوز، ناپایداری ترکیبات فعال در خوراک و نوسان اثر بر مسیر آروماتاز، کاربرد گسترده آن‌ها را وابسته به پژوهش‌های تکمیلی می‌سازد. موفقیت هر یک از راهبردهای تک‌جنس‌سازی به‌شدت تحت تأثیر عوامل محیطی، به‌ویژه تنش مزمن ناشی از تراکم بالا و نوسانات دما در مزارع ایران است که از طریق افزایش کورتیزول و اختلال در محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-گناد، بلوغ زودرس نرهای XY را تشدید می‌کند؛ ازاین‌رو، مدیریت دقیق کیفیت آب و ثبات محیطی پیش‌نیاز فیزیولوژیک این فناوری‌هاست. روش‌هایی مانند گاینوژنز و آندروژنز بیشتر ابزارهای راهبردی تحقیقاتی برای تولید خطوط خالص (DH) و پشتیبانی برنامه‌های به‌نژادی محسوب می‌شوند (Polonis *et al*., 2019؛ Ocalewicz, 2024؛ Dogan, M., 2025). جمع‌بندی کلی بر یک روش تلفیقی تأکید دارد که برتری ژنتیکی (به‌ویژه YY) را با مدیریت ریسک‌های محیطی، احتیاط در بکارگیری تری پلوئیدها، توسعه جایگزین‌های ایمن و حرکت آینده‌نگر به سوی فناوری‌های دقیق ژنومی، مانند ویرایش ژن و نیز پژوهش درباره برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط در شرایط بومی ایران ادغام می‌کند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از حمایت های همکاران محترم کمال تشکر را دارند.

منابع

1. Abdollahzadeh, Y., Mazandarani, M., Hoseinifar, S. H., Lieke, T., Van Doan, H. and Pourmozaffar, S., 2025. Dietary fulvic acid improves immune, digestive and antioxidant parameters in juvenile white-leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in a super-intensive system. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, *275*, 111011. DOI: 10.1016/j.cbpb.2024.111011
2. Amini, F. and Tala, M., 2003. Optimization of oral administration of 17α-methyl testosterone for masculinization and sterilization of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Veterinary Research*, *58*(3), pp.235-240. [In Persian]
3. Azari Takami, Gh., Amini, F. and Kalbasi, M., 1997. Induction of triploidy in r by thermic shocks. *Journal of Veterinary Research, 52*(2), pp.51-60. [In Persian]
4. Babaheydari, S.B., Keyvanshokooh, S., Dorafshan, S. and Johari, S.A., 2016. Proteome changes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fertilized eggs as an effect of triploidization heat-shock treatment. *Animal Reproduction Science*, *166*, pp.116-121. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2016.01.010
5. Babaheydari, S.B., Keyvanshokooh, S., Dorafshan, S. and Johari, S.A., 2018. Effects of triploidization by heat shock treatment on growth performance and amino acids profiles in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Veterinary Research*, *73*(2), pp. 173-180. DOI: 10.22059/jvr.2018.132957.2359 [In Persian]
6. Basavaraju, Y., 2023. Monosex population in aquaculture. In Frontiers

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-919]

in aquaculture biotechnology, Academic Press, pp.89-101. DOI: 10.1016/B978-0-323-91240-2.00012-9

7. Bazaz, A. I., Shah, T. H., Bhat, F. A., Ahmad, I., Kushwaha, B., Kumar, R., ... and Naqshbandi, N. U. A., 2025. Production of sterile trout (Triploids) by chromosome set manipulation using thermal shock treatment in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) from Kashmir Himalayas. *Zygote, 33*(1), pp.10-18. DOI: 10.1017/S0967199424000509
8. Budd, A.M., Banh, Q.Q., Domingos, J.A. and Jerry, D.R., 2015. Sex control in fish: approaches, challenges and opportunities for aquaculture. *Journal of Marine Science and Engineering*, *3*(2), pp.329-355. DOI: 10.3390/jmse3020329
9. Castañeda Cortes, D.C. and Fernandino, J.I., 2020. Stress and sex determination in fish: From brain to gonads. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *375*(1798), 20190673. DOI: 10.1387/ijdb.200072jf
10. Cole, K. S., Noakes, D. L., Thompson, N., Blouin, M., Morrison, B., Couture, R. B., ... and Schreck, C. B., 2021. Effects of temperature on sexual development in steelhead, *Oncorhynchus mykiss*. *Environmental Biology of Fishes*, *104*(3), pp.229-238. DOI: 10.1007/s10641-021-01064-0
11. Corsi, S.R., Booth, N.L. and Hall, D.W., 2001. Aircraft and runway deicers at General Mitchell International Airport, Milwaukee, Wisconsin, USA. 1. Biochemical oxygen demand and dissolved oxygen in receiving streams. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, *20*(7), pp.1474-1482. DOI: 10.1002/etc.5620200709
12. D'ambrosio, J., Phocas, F., Haffray, P., Bestin, A., Brard-Fudulea, S., Poncet, C., ... and Dupont-Nivet, M., 2019. Genome-wide estimates of genetic diversity, inbreeding and effective size of experimental and commercial rainbow trout lines undergoing selective breeding. *Genetics Selection Evolution*, *51*(1), pp.26. DOI: 10.1186/s12711-019-0468-4
13. Dogan, M., 2025. Sex control and Manipulation in aquaculture. Can, E., and Seyhaneyildiz , S. "sustainable practice on aquatic science". Livre de lion, 155p.
14. Feist, G., Yeoh, C.G., Fitzpatrick, M.S. and Schreck, C.B., 1995. The production of functional sex-reversed male rainbow trout with 17-alpha-methyltestosterone and 11-beta-hydroxyandrostenedione. *Aquaculture*, *131*(1-2), pp.145-152.
15. Fraslin, C., Phocas, F., Bestin, A., Charles, M., Bernard, M., Krieg, F., ... and Quillet, E., 2020. Genetic determinism of spontaneous masculinisation in XX female rainbow trout: new insights using medium throughput genotyping and whole-genome sequencing. *Science of. Reproduction, 10*, 17693. DOI: 10.1038/s41598-020-74757-8
16. Polonis, M., Jagiełło, K., Dobosz, S., Rożyński, R., Kondraciuk, P., Gurgul, A., Szmatoła, T. and Ocalewicz, K., 2019. Alterations in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) eggs exposed to ionizing radiation during induced androgenesis. *Reproduction in Domestic Animals*, *54*(4), pp.712-718. DOI: 10.1111/rda.13413
17. Guiguen, Y., Bertho, S., Herpin, A. and Fostier, A., 2018. Sex determination and sex control in Salmonidae. In Sex Control in Aquaculture (eds H.-P. Wang, F. Piferrer, S.-L. Chen and Z.-G. Shen), pp. 249-280. *Wiley-Blackwell*. DOI: 10.1002/9781119127291.ch11
18. Gutierrez, J.B. and Teem, J.L., 2006. A model describing the effect of sex-reversed YY fish in an established wild population: the use of a Trojan Y chromosome to cause extinction of an introduced exotic species. *Journal of Theoretical Biology*, *241*(2), pp.333-341. DOI: 10.1016/j.jtbi.2005.11.032
19. Hajibeglou, A., Sudagar, M.,

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-919]

Azizinezhad Jolandan, F. and Alaei, K., 2023. The effects of *Mucuna pruriens* and *Basella alba* extracts on sex reversal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Research*, *2023*(1), 8252139. DOI: 10.1155/2023/8252139

20. Hajibeglou, A. and Machanlou, M., 2024. Sex reversal of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using letrozole and combinations of *Asparagus racemosus* and *Tribulus terrestris* extracts. *Aquaculture International*, *32*(2), pp.2223-2232. DOI: 10.1007/s10499-023-01266-6
21. Hosseinzadeh Sahafi, H., 2015. Estimation of hormone residuals (β-Estradiole) in Rainbow trout. Project Repot of Iranian Fisheries Science Research Institute, Report Number: 45809. 35p. [In Persian]
22. Houssay, B.A., 1930. Accion sexual de la hipofisis en los peces reptiles. *Revista de la Sociedad Argentina de Biología*, 6(5), pp.656-659.
23. Irani, A., 2023. Effects of polyploidy induction on growth performance, survival rate, and erythrocyte of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Experimental Animal Biology, 12*(45), pp.87-98. DOI: 10.30473/eab.2023.68141.1912 [In Persian]
24. Kowalski, R.K., Sarosiek, B., Demianowicz, W., Judek, J., Goryczko, K., Dobosz, S., ... and Glogowski, J., 2011. Quantitative characteristics of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, neo-males (XX genotype) and super-males (YY genotype) sperm. *World Academy of Science, Engineering and Technology, 5*(5), pp.1127-1134.
25. Kudinov, A.A. and Kause, A., 2024. Sex identification in rainbow trout using genomic information and machine learning. *Genetics Selection Evolution*, *56*(1), pp.79. DOI: 10.1186/s12711-024-00944-0
26. Lee, C.H., Kim, D.J., Jeong, C.H., Choi, G.C., Lee, C.S. and Kim, D.S., 2010. Induction of Physiological Sex-Reversal and Gynogenetic Diploid in Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Life Science*, *20*(11), pp.1634-1639. DOI: 10.5352/JLS.2010.20.11.1634
27. Liu, G., Chen, L., Tian, H., Sun, G., Wei, F., Meng, Y. and Ma, R., 2023. Adult triploid rainbow trout can adapt to various dietary lipid levels by coordinating metabolism in different tissues. *Metabolites*, *13*(3), pp.396. DOI: 10.3390/metabo13030396
28. Mahmoudi, R., Naderi, M., Dopeikar, H., Khorasaninasab, S.A. and Seyedalhosseini, S.H., 2025. Interactive effects of triploidy induction and culture densities on growth performance and stress, immune, and metabolic responses in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Report*, *40*, 102540. DOI: 10.1016/j.aqrep.2024.102540
29. Naji, T., Nejatkhah Manavi, P. and Razmi, K., 2010. The survey of 17α-ethynyl estradiol on feminization of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Environmental Science and Technology, 11*(3), pp.295-302. [In Persian]
30. Ocalewicz, K., Gurgul, A., Polonis, M. and Dobosz, S., 2020. Preliminary identification of candidate genes related to survival of gynogenetic rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) based on comparative transcriptome analysis. *Animals*, *10*(8), pp.1326. DOI: 10.3390/ani10081326
31. Ocalewicz, K., 2024. Quality of fish eggs and production of androgenetic and gynogenetic doubled haploids (DHs). *Fish Physiology and Biochemistry*, *50*(5), pp.1947-1957. DOI: 10.1007/s10695-023-01206-4
32. Ocalewicz, K., Kuciński, M., Jasielczuk, I., Gurgul, A., Kucharski, M. and Dobosz, S., 2024. Transcript level of telomerase reverse-transcriptase (TERT) gene in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) eggs with different developmental competence for gynogenesis. *Journal of*

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-919]

Applied Genetics, *65*(4), pp.897-905. DOI: 10.1007/s13353-024-00887-8

33. Okutsu, T., Shikina, S., Sakamoto, T., Mochizuki, M. and Yoshizaki, G., 2015. Successful production of functional Y eggs derived from spermatogonia transplanted into female recipients and subsequent production of YY supermales in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, *446*, pp.298-302. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2015.05.020
34. Pandian, T.J., 2013. Endocrine sex differentiation in fish. *CRC Press*. 299p.
35. Paykan Heyrati, F., Saghavi, S., Mokhlesabady Farahany, A. and Darafshan, S., 2021. Monosex fish production in aquaculture, methods, benefits, limitation and future aspects. *Journal of Aquaculture Sciences*, *9*(16), pp.48-68.[In Persian]
36. Phillips, R.B., 2013. Evolution of the sex chromosomes in salmonid fishes. *Cytogenetic and Genome Research*, *141*(2-3), pp.177-185. DOI: 10.1159/000355149
37. Piferrer, F., and Donaldson, E.M., 1989. Gonadal differentiation in coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*, after a single treatment with androgen or estrogen at different stages during ontogenesis. *Aquaculture*, *77*(2-3), pp.251-262. DOI: 10.1016/0044-8486(89)90207-X
38. Piferrer, F., 2001. Endocrine sex control strategies for the feminization of teleost fish. *Aquaculture*, *197*(1-4), pp.229-281. DOI: 0.1016/S0044-8486(01)00589-0
39. Rastiannasab, A. and Kazemi, E., 2022. Investigation of sexual maturity and change in gonadosomatic index of sex riversed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) treated by oral 17 alpha methyl testosterone. *International Journal of Aquatic Research and Environmental Studies*, *2*(2), pp.11-15. DOI: 10.70102/IJARES/V2I2/3
40. Razmi, K., Naji, T., Alizadeh, M. and Hoseinzadeh Sahafi, H., 2011. Hormonal sex reversal of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by ethynylestradiol-17alpha (EE2). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, *10*(2), pp.304-315.
41. Salehi, H., Reiser, S. and Focken, U., 2023. Nutrient digestibility and retention of potential feed ingredients for Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) aquaculture in Iran. *Aquaculture Nutrition*, 8910005. DOI: 10.1155/2023/8910005
42. Salimian, S., Keyvanshokooh, S., Salati, A.P., Pasha-Zanoosi, H. and Babaheydari, S.B., 2016. Effects of triploidy induction on physiological and immunological characteristics of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) at early developmental stages (fertilized eggs, eyed eggs and fry). *Animal Reproduction Science*, *165*, pp.31-37. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2015.12.002
43. Tacon, A.G.J., Metian, M. and Hasan, M.R., 2009. Feed ingredients and fertilizers for farmed aquatic animals: sources and composition. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. Rome, FAO. *540*, 209p.
44. Vizziano, D., Randuineau, G., Baron, D., Cauty, C. and Guiguen, Y., 2007. Characterization of early molecular sex differentiation in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Developmental Dynamics: An Official Publication of the American Association of Anatomists*, *236*(8), pp.2198-2206. DOI: 10.1002/dvdy.21212
45. Wendelaar Bonga, S.E., 1997. The stress response in fish. *Physiological Reviews*, *77*(3), pp.591-625. DOI: 10.1152/physrev.1997.77.3.591
46. Yaghoubi, S., Yuosefiyan, M. and Hedayati Fard, M., 2012. Time optimization of heat shock after fertilization for triploid induction in Rainbow trout (*Onchorhynchus myksis*). *New Technologies in Aquaculture Development*, *5*(4), pp.78-84.[In Persian]
47. Yano, A., Guyomard, R., Nicol, B., Jouanno, E., Quillet, E., Klopp, C.,

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-919]

Cabau, C., Bouchez, O., Fostier, A. and Guiguen, Y., 2012. An immune-related gene evolved into the master sex-determining gene in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Current Biology*, *22*(15), pp.1423-1428. DOI: 10.1016/j.cub.2012.05.045

48. Yilmaz, E., Çek, Ş. And Mazlum, Y., 2013. Effects of synthetic and natural steroids on the growth, sex reversal and gonadal development of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *30*(3), pp.123-131. DOI: 10.12714/egejfas.2013.30.3.06

49. Zargham, D., Razmi, K. and Bashti, T. 2022. Evaluation of growth rate, survival and deformity due to triploid induction in Rainbow trout by heat shock. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, *30*(6), pp.24-13. DOI: 10.22092/isfj.2022.125740 [In Persian]

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-919]