15(2) 213-222, Summer 2023

Journal of Animal Environment
(AEJ)
Journal homepage: http://www.aejournal.ir

Original Research Paper

Comparison of muscle quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) raised in two open and partial water reuse systems

Saeed Zahedi [1*], Omid Safari [1], Hamidreza Ahmadnia Motlagh [1], Mehrdad Sarkheil [1], Behzad Mohammadi [2]

[1]Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
[2] Department of Veterinary Medicine, Gonabad Branch, Islamic Azad University, Gonabad, Iran

Key Words

Open system
Partial water reuse system
Muscle quality
Oncorhynchus mykiss

Abstract

Introduction: At present, many cold water fish farms in the country use reused water to produce fish, but the effects of its use on fish muscle quality are not well known. The aim of the present study was to compare the muscle quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) raised in two open and partial water reuse systems.

Materials & Methods: For this purpose, young trout with a stocking density of 20 kg/m^3 and a loading density of 1 L/min/kg of fish was studied in two an open system (100% make-up water) and a designed partial water reuse system (with a reduction of 80% make-up water and its replacement with the reused water) for 45 days.

Results: Four times of water recirculation caused an increase of 6.7 and 6.5 times in the amount of water total ammonia and total phosphorus compared to an open treatment, respectively. Muscle crude protein, crude fat, pH and moisture percentage showed significant differences between two treatments. In contrast**,** there were no significant differences in water holding capacity, cooking loss, texture analysis (hardness, adhesiveness, resilience, cohesiveness, springiness, gumminess and chewiness) and color indices of L*, a* and b* between two treatments.

Conclusion: Consequently, the reuse of water to the same extent as the present designed protocol did not have very obvious changes on many studied muscle quality factors of fish.

* Corresponding Author's email: saeedzahedi@um.ac.ir
Received: 20 February 2022; Reviewed: 23 March 2022; Revised: 28 May 2022; Accepted: 1 July 2022
(DOI): 10.22034/AEJ.2023.396645.2968

مقاله پژوهشی

مقایسه کیفیت عضله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) پرورش یافته در دو سامانه باز و بازگردشی نسبی

سعید زاهدی[1]، امید صفری[1]، حمیدرضا احمدنیای‌مطلق[1]، مهرداد سرخیل[1]، بهزاد محمدی[2]*

[1] گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

[2] گروه دامپزشکی، واحد گناباد، دانشگاه آزاد اسلامی، گناباد، ایران

کلمات کلیدی

سامانه باز
سامانه بازگردشی نسبی
کیفیت لاشه
قزل‌آلای رنگین‌کمان

چکیده

مقدمه: در حال حاضر، بسیاری از مزارع پرورش ماهیان سردابی در کشور، از آب برگشتی جهت تولید ماهی استفاده می‌نمایند ولی اثرات استفاده از آن بر کیفیت گوشت، به‌خوبی مشخص نیست. هدف از این مطالعه، مقایسه کیفیت عضله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) پرورش یافته در دو سامانه (سیستم) باز و بازگردشی نسبی است.

مواد و روش‌ها: به این منظور، قزل‌آلای جوان با تراکم نگه‌داری ۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب و تراکم بارگذاری ۱ لیتر بر دقیقه به‌ازای هر کیلوگرم ماهی، در دو سامانه باز (۱۰۰ ٪ آب تازه ورودی) و بازگردشی نسبی طراحی شده (با کاهش ۸۰٪ آب تازه ورودی و جایگزینی آن با آب برگشتی همان استخرها) به‌مدت ٤٥ روز مورد مطالعه قرار گرفت.

نتایج: ٤ مرتبه بازگردش آب، به‌ترتیب، موجب افزایش ٦/٧ و ٦/٥ برابری مقادیر آمونیاک کل و فسفر کل آب در مقایسه با تیمار باز گردید. پروتئین خام، چربی خام، pH و درصد رطوبت لاشه بین دو تیمار اختلاف معنی‌داری را نشان داد. در مقابل، هیچ اختلاف معنی‌داری در ظرفیت نگه‌داری آب، افت طی پخت، آنالیز بافت (سختی، به‌هم پیوستگی، انعطاف‌پذیری، چسبندگی، فنریت، صمغی بودن و قابلیت جویدن) و نیز شاخص‌های رنگی *L، *a و *b بین دو تیمار مشاهده نشد.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که برگشت آب به‌میزانی مشابه پروتکل طراحی شده در این مطالعه، تغییرات خیلی محسوسی بر بسیاری از فاکتورهای کیفی مطالعه شده در عضله ندارد.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: saeedzahedi@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱ اسفند ۱٤۰۰؛ تاریخ داوری: ۳ فروردین ۱٤۰۱؛ تاریخ اصلاح: ۷ خرداد ۱٤۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۰ تیر ۱٤۰۱
(DOI): 10.22034/AEJ.2023.396645.2968

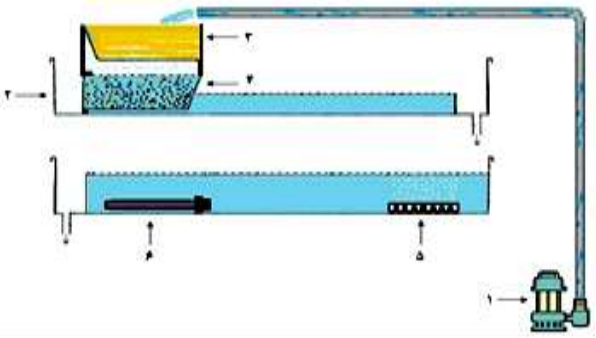
مقدمه

تغییرات اقلیم جهانی، موجب کاهش بارندگی و تغییر الگوی بارش در بسیاری از نقاط کره زمین شده است (۱). در ایران نیز، خشکسالی‌های اخیر، کاهش دبی منابع آب‌های سطحی را به‌ویژه در فصول خشک سال در پی داشته است که عمده مزارع پرورش ماهیان سردابی کشور، از این منابع، جهت تامین آب مورد نیاز خود، بهره می‌جویند. این امر، بسیاری از پرورش‌دهندگان سردابی کشور را مجبور به استفاده از عملیات برگشت آب نموده است. انجام عمل برگشت آب در مزارع سردابی، اقدامی مفید بوده و می‌تواند افزایش ظرفیت تولید و نیز، توزیع یکسان فاکتورهای کیفی آب را سبب شود (۲). از طرف دیگر، عملیات برگشت آب، می‌تواند منجر به کاهش کیفیت آب درون استخرهای پرورشی شود و تغییر نامطلوب پارامترهای کیفی آب، به جهت اثرگذاری بر فیزیولوژی ماهی، بر تمامی جنبه‌های حیاتی ماهی موثر می باشد (۳). به‌همین جهت، کیفیت آب از موارد مهم و مورد توجه در مدیریت پرورش گونه‌های سردابی هم‌چون قزل‌آلای رنگین‌کمان است. چراکه این ماهیان، نیازمندی‌های بالایی از لحاظ پارامترهای کیفی آب دارند و با کاهش کیفیت آب درون استخرها، رشد، رفتار و سلامت آن‌ها دچار نقصان جدی می‌شود (۳، ۴). عمده تولید ماهی قزل‌آلا، به‌عنوان مهم‌ترین گونه پرورشی سردابی کشور، در سامانه (سیستم) باز انجام می شود. در سامانه باز، آب تازه ورودی (make-up water) به مزرعه، در واقع همان کل آب ورودی به سامانه (top-up water) است که فقط یک مرتبه از داخل استخرها عبور داده می‌شود (۵). در مقابل، سامانه‌های بازگردشی نسبی و بازگردشی کامل (مداربسته) قرار دارند که میزان کل آب ورودی به استخرهای موجود در آن، می‌تواند چندین برابر آب تازه ورودی مزرعه باشد (۵). پروتکل‌های برگشت آب در سامانه‌های بازگردشی نسبی که در کشور به سامانه‌های آب برگشتی (re-used water systems) نیز معروف می‌باشند، بسته به میزان بازگردش، متفاوت است ولی به‌طورکل در آن‌ها، نیاز به استفاده از فیلترهای زیستی نمی‌باشد (۶). به‌عبارت دیگر، بازگردش آب در آن‌ها برخلاف سامانه‌های مداربسته، به‌میزانی انجام می‌شود که غلظت آمونیاک کل (total ammonia nitrogen =TAN) آب، از حدود آستانه‌ای مجاز برای پرورش قزل‌آلا فراتر نرود که استفاده از بیوفیلتر میکروبی، برای رقیق نمودن آن، ضرورت یابد (۵). در این‌جا، فقط درصدی از کل آب در حال گردش در سامانه، تعویض می‌شود و مابقی آب در حال گردش، از تصفیه و بازگردش فاضلاب خروجی خود استخرها (آب برگشتی) تامین می‌گردد (۵، ۶). سامانه‌های بازگردشی نسبی و کامل، ظرفیت‌های تولیدی جدیدی را با مقادیر کم‌تر آب تازه ورودی ممکن می‌سازند که می‌تواند در برداشتن محدودیت‌های کمی آب، در منابع دارای دبی اندک، مفید باشد (۵، ۶، ۷، ۸). نکته‌ای که نباید از نظر دور نگه داشته شود این است که در سامانه‌های بازگردشی کامل (مداربسته)، با استفاده از واحدهای تصفیه‌ای مجزا و پیاپی، کلیه تغییرات کیفی آب در اثر پرورش ماهی درون استخرها، تاحد بسیار زیادی اصلاح می‌شود ولی در سامانه‌های بازگردشی نسبی، اصلاح و تصفیه آب، کامل نیست. یعنی در این‌جا فقط بخشی از تغییرات ایجاد شده در پارامترهای کیفی آب اصلاح می‌گردد (۵). عمده اقدامات اصلاحی در مزارع قزل‌آلای ایران شامل ترسیب ذرات درشت در بافل‌ها یا استخرهای رسوب‌گیر، تصفیه فیزیکی ذرات معلق ریزتر با کمک غشاءهای فیلتری میکرونی موجود در درام فیلترها و دیسک فیلترها و نیز، هوادهی توسط هواده‌های تزریقی (مثل سوپرفورس و ایرجت) یا هواده‌های پاششی (اسپلش‌ها) و بعضاً اکسیژن‌دهی است. با گذشت زمان، در نتیجه بازگردش آب درون سامانه‌های بازگردشی نسبی، شاهد کاهش کیفیت آب درون سامانه خواهیم بود که این کاهش کیفیت، می‌تواند استرس مزمنی را ایجاد نموده و بر فیزیولوژی ماهی موثر باشد (۳، ۴، ۹). امروزه، بررسی فاکتورهای کیفی لاشه ماهی در مطالعات آبزی‌پروری از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشند چراکه هدف نهایی صنعت پرورش ماهی، استفاده از عضله سفید ماهی در تغذیه انسان است (۱۰). در همین راستا، مطالعات متعددی جنبه‌های گوناگون تغییرات کیفی عضله در طی عملیات پرورشی را بررسی نموده‌اند (۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵). به‌عنوان نمونه، مطالعات بی‌شماری به اهمیت بالا و اثر تغییر اقلام جیره غذایی بر کیفیت لاشه ماهی پرداخته‌اند (۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰). در کنار عوامل تغذیه‌ای، اثر پارامترهای کیفی آب بر کیفیت لاشه ماهیان نیز مورد تاکید قرار گرفته است (۲۱، ۲۲). بررسی صورت گرفته بر ماهی آزاد اقیانوس اطلس نشان می‌دهد که گوشت ماهیان در شرایط استرسی، سفت‌تر شده و وقوع جمود نعشی یک روز زودتر در مقایسه با ماهیانی که تحت استرس نبوده‌اند، رخ می‌دهد (۲۱). به‌طورکلی، ماهیان تحت استرس، انرژی‌های عضلانی بیش‌تری را تولید نموده و بنابراین، لاشه دارای اسیدلاکتیک بیش‌تری بوده که منجر به کاهش pH آن شده که موجب تغییر زمان شروع جمود نعشی می‌شود. به‌طورکلی، کیفیت گوشت متاثر از تغییرات ترکیبات بدن ناشی از رشد است که بر ترکیب و کیفیت فیله اثر دارد (۲۳، ۲۴). ایران در سال‌های اخیر، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین کشورهای تولیدکننده قزل‌آلا در آب شیرین در جهان قلمداد می‌شود (۲۵) و گوشت این ماهی، به جهت کیفیت بالا و طعم مطلوب، در سبد غذایی بسیاری از مردم کشور جای گرفته است. عرضه گوشت قزل‌آلا عمدتاً به‌صورت تازه، منجمد و فیله در کشور انجام می‌شود که همه از بازارپسندی مطلوبی برخوردار می‌باشد. اما کاهش رشد، افزایش استرس

و تغییرات فیزیولوژیکی قزل‌آلای پرورش یافته در سامانه‌های بازگردشی نسبی در مقایسه با سامانه باز نشان داده شده است (۲۶). هم‌چنین، گزارشاتی وجود دارد که استفاده از آب برگشتی، باعث بازارپسندی کم‌تر قزل‌آلا به‌جهت بوی نامطبوع لاشه و کاهش کیفیت آن می‌شود. با توجه به اجتناب‌ناپذیر بودن برگشت آب در بسیاری از مزارع کشور به جهت ضرورت و مزایای برشمرده برای آن و نیز، دغدغه صحیح بسیاری از تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان قزل‌آلا پیرامون کیفیت گوشت تولیدی، این مطالعه به بررسی اثر استفاده از آب برگشتی بر کیفیت عضله ماهی در سنین پرواری می‌پردازد که تراکم نگه‌داری نزدیک به تراکم اکثر مزارع سردابی کشور را تجربه نموده است. هدف از این مطالعه، مقایسه اثر پروتکل برگشت آب طراحی شده با کاهش ۸۰٪ آب تازه ورودی (و جایگزینی آب برگشتی به‌جای آن) با یک سامانه باز (در شرایطی با تراکم نگه‌داری (Stocking density) و تراکم بارگذاری (Loading density) یکسان) در محیط کارگاهی بر برخی از پارامترهای کیفی لاشه در ماهی قزل‌آلا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ماهیان و شرایط آزمایشگاهی: آزمایش در بخش نرسری مرکز حدواسط و پرورش قزل‌آلای صدف، واقع در روستای حصار شهرستان تربت حیدریه و با ماهیان جوان تمام ماده فرانسوی موجود در مرکز انجام شد. ماهیان در استخرهای هشت ضلعی بخش، با تراکم تقریبی ۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب نگه‌داری می‌شدند که در شروع آزمایش، به استخرهای مستطیلی آن‌جا منتقل شدند. این استخرها دارای آستر سرامیکی و به ابعاد ۰/۷×۰/۷×۴ متر و حجم کل ۲۰۰۰ لیتر بوده که برای این آزمایش، فقط به میزان ۱۰۰۰ لیتر آبگیری شدند. قبل از شروع آزمایش و در حین آزمایش، ماهیان به‌مقدار ۱/۵٪ زی‌توده و دو بار در روز (صبح و عصر) با خوراک اکسترود قزل‌آلا (خوراک پرواری شماره ۳، فرادانه شهرکرد)، به‌صورت دستی تغذیه می‌شدند. در روز شروع آزمایش، ماهیان (میانگین وزنی ۱۵±۲۶۰/۵ گرم و میانگین طول ۰/۱±۲۳/۱ سانتی‌متر) به دو سامانه از نوع باز و بازگردشی نسبی، منتقل و با تراکم یکسان ۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب (تعداد ۷۵ قطعه ماهی جوان در هر استخر) و تراکم بارگذاری مشابه ۱ لیتر بر دقیقه به‌ازای هر کیلوگرم ماهی، در سه تکرار ذخیره‌سازی و به مدت ۴۵ روز مورد تغذیه قرار گرفتند. آب ورودی به هر دو سامانه، آب چشمه (با درجه حرارت ۱۳ درجه سانتی‌گراد، pH ۷/۲ و هدایت الکتریکی ۷۲۰ میکروموس بر سانتی‌متر) مزرعه صدف بود که قبل از ورود به استخرها، برای رسیدن میزان اکسیژن محلول به بالای ۹۰٪ حالت اشباع و گاززدایی، توسط دستگاه اسپلش، در استخر ذخیره آب واقع در پشت سوله نرسری، هوادهی می‌شد. در سامانه باز، آب ورودی پس از خروج از استخرهای مستطیلی، به زهکش اصلی سوله ریخته و از محیط خارج می‌شد. اما در سامانه بازگردشی نسبی یا همان پروتکل برگشت آب طراحی شده، در ابتدا، آب تازه ورودی به هر استخر مستطیلی، به‌میزان ۸۰٪ کاهش یافت و به‌جای آن، برای ثابت نگه‌داشتن تراکم بارگذاری، آب خروجی خود همان استخرها، برگشت داده می‌شد. در پروتکل برگشت آب طراحی شده، آب خروجی از هر استخر، قبل از بازگردش و ورود مجدد به همان استخر، ابتدا توسط پمپ کفکش به درون یک واحد تصفیه فیزیکی طراحی‌شده درون تراف کالیفرنیایی (جهت حذف ذرات جامد معلق) پمپاژ می‌گردید. به این نحو که در ابتدا، آب وارد سبد تخم ماهی شماره یک (مستقر روی تراف کالیفرنیایی) می‌گردید که با چندین لایه از پد و ابر اسفنجی پر شده بود و آب خروج یافته از آن، به داخل سبد تخم ماهی شماره دو (واقع در زیر سبد شماره یک) می‌ریخت که حاوی شن و ماسه بود. سپس آب در انتهای تراف کالیفرنیایی، با عبور از بالای یک تخته کوچک، وارد خروجی تراف کالیفرنیایی اول می‌شد و به داخل تراف کالیفرنیایی دوم می‌ریخت که با طی کردن طول آن و انجام هوادهی در طول مسیر (و در صورت لزوم گرم نمودن توسط بخاری الکتریکی) و با اختلاط با آب تازه ورودی، مجدداً به‌داخل استخر خودش می‌ریخت. هم‌چنین، جهت تامین اکسیژن موردنیاز، هوادهی درون استخرها، توسط سنگ هوای متصل به کمپرسور هوادهی انجام می‌شد (شکل ۱). با توجه به انجام آزمایش در فصل دی‌ماه و امکان سرد شدن آب طی بازگردش، به جهت حفظ درجه حرارت آب در سامانه بازگردشی نسبی و هم‌چنین، یکسان بودن دمای آب در هر دو تیمار آزمایشی، محیط سوله نرسری گرم نگه‌داشته می‌شد. به‌علاوه، در هنگام شب، از بخاری الکتریکی درون تراف کالیفرنیایی دوم استفاده می‌شد تا درجه حرارت آب طی بازگردش افت نکند. تراکم نگه‌داری استخرها تا پایان آزمایش با انجام بیومتری و برداشتن تعدادی از ماهیان، ثابت نگه‌داشته شد. طی مدت آزمایش، پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب خروجی استخرهای هر دو سامانه به‌طور مرتب و براساس جدول زمانی مدنظر اندازه‌گیری می‌شدند که عبارت بودند از: درجه حرارت به‌صورت ۴ بار طی روز با استفاده از دماسنج دیجیتالی (China)، اکسیژن محلول به‌طور روزانه با استفاده از اکسی‌متر (YSI550, YSI inc, USA)، pH به‌طور هفتگی با استفاده از مولتی‌متر (AZ instrument, Taiwan)، آمونیاک به‌صورت هفتگی با استفاده از روش اسپکتروفتومتری (DR 5000TM model, HACH CO., USA)، فسفر کل با استفاده از روش ICP-OES (Spectro Arcos-76004555 plasma model, Germany) و هدایت الکتریکی هر دو هفته یک‌بار با استفاده از دستگاه سنجش EC (JENWAY 4510).



شکل ۱: پروتکل تصفیه آب برگشتی طراحی شده در مزرعه صدف (حصار، تربت حیدریه). سامانه شامل ۱) پمپ کفکش، ۲) تراف کالیفرنیایی، ۳) سبد شماره یک حاوی پد و ابر اسفنجی، ۴) سبد شماره دو حاوی ذرات شن و ماسه، ۵) سنگ هوای متصل به کمپرسور، ۶) بخاری الکتریکی. آب پمپاژ شده توسط پمپ کفکش، در نهایت پس از عبور از واحد تصفیه فیزیکی طراحی شده و هوادهی، به استخر خودش برگشت داده می‌شد.

نمونه‌برداری از ماهیان: در صورت مشاهده مرگ و میر در ماهیان، ثبت آن به‌طور روزانه انجام می‌گردید. پس از گذشت ۴۵ روز از شروع آزمایش، ماهیان به‌مدت ۲۴ ساعت قطع غذا شدند و در روز بعد، در ساعت ۹ صبح با برداشت ۶ قطعه ماهی از هر تیمار، نمونه‌برداری انجام شد. از عصاره میخک (جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران) برای بی‌هوش کردن ماهیان درون‌وان پلاستیکی استفاده شد. ماهیان بی‌هوش شده، بیومتری شدند. سپس، تخلیه شکمی انجام شده و لاشه به‌سرعت درون جعبه‌های یونولیتی، با پودر یخ، یخ‌پوشی و به آزمایشگاه فرآوری شیلاتی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل گردید.

اندازه‌گیری پارامترهای کیفی لاشه: در ابتدا، تمام نمونه‌ها با آب شهری به‌طور کامل شستشو داده شد. برای آنالیز تقریبی لاشه، همگن فیله قزل‌آلا تهیه گردید.

اندازه‌گیری رطوبت عضله: مطابق روش AOAC (۲۷) حدود ۱۰ - ۵ گرم از نمونه چرخ شده، در داخل آون (پارت آزما، ایران) با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و پس از ۱۲ ساعت از آن خارج و به‌داخل دسیکاتور انتقال یافت. نمونه‌ها پس از سرد شدن، مجدداً توزین گردیدند. میزان رطوبت از رابطه ۱ مورد محاسبه قرار گرفت.

رابطه ۱: ۱۰۰×(وزن اولیه/ وزن نهایی- وزن اولیه) = درصد رطوبت(٪)

تعیین درصد ماده خشک عضله: ماده خشک به‌روش AOAC اندازه‌گیری شد (۲۷). ابتدا نمونه‌ها قبل از خشک شدن، توزین و سپس در آون (پارت آزما، ایران) به‌مدت ۲۴ ساعت با درجه حرارت ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. با محاسبه اختلاف وزن به‌دست آمده، ماده خشک نمونه‌ها محاسبه گردید.

تعیین میزان پروتئین، چربی و خاکستر عضله: میزان پروتئین نمونه‌ها به‌روش کجلدال بر مبنای سنجش ازت و با دستگاه کجلدال اتوماتیک (Foss, Denmark) تعیین گردید (۲۷). میزان چربی نمونه‌ها با استفاده از روش سوکسله (۲۷) و با کمک دستگاه Soxtec™ 8000 (FOSS, Denmark) و با استفاده از حلال اتردوپترول سنجش گردید. برای تعیین میزان خاکستر نمونه‌ها از کوره الکتریکی (شرکت گدازه گستر، ایران) استفاده شد. نمونه‌های خشک شده به‌مدت شش ساعت در دمای ۵۰۰ تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد سوزانده شد و پس از سرد شدن، با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم، توزین شدند. سپس میزان خاکستر نمونه‌ها از طریق فرمول زیر محاسبه گردید (۲۷):

رابطه ۲: وزن نمونهٔ اولیه/(۱۰۰× وزن خاکستر) = خاکستر(٪)

اندازه‌گیری pH عضله: برای اندازه گیری pH، مقدار ۵ گرم از گوشت همگن شده ماهی به‌همراه ۴۵ میلی‌لیتر آب مقطر و به‌مدت ۵ دقیقه روی دستگاه شیکر قرار داده شد. سپس مقدار pH نمونه، توسط دستگاه pH متر (Hanna Instruments) اندازه‌گیری شد (۲۸).

تعیین ظرفیت نگه‌داری آب عضله: ظرفیت نگه‌داری آب در نمونه‌ها به‌روش شرح داده شده توسط Park اندازه‌گیری شد (۲۹). مقدار ۱ گرم از نمونه روی کاغذ صافی به‌صورت یک لایه نازک پخش شده و توزین شد (وزن اولیه نمونه). سپس نمونه به مدت ۵ دقیقه توسط یک وزنه ۲ کیلویی تحت فشار ثابت قرار داده شد و آن‌گاه همهٔ نمونه، با دقت تمام از کاغذ صافی جدا و توزین شد (وزن نمونه بعد از فشار). با توجه به میزان آب خارج شده از بافت نمونه تحت فشار، آب قابل تراوش (Expressible water =EW) و ظرفیت نگه‌داری آب (WHC=Water holding capacity) بر حسب درصد (٪) از طریق روابط زیر محاسبه شدند:

رابطه ۳: = آب قابل تراوش

۱۰۰ × [وزن اولیه نمونه/(وزن نمونه بعد از فشار- وزن اولیه نمونه)]

رابطه ۴: = ظرفیت نگه‌داری آب

۱۰۰ × (درصد رطوبت نمونه اولیه/درصد آب تراوش شده)

افت وزنی پس از پخت (Cooking loss): میزان افت وزنی بعد از پخت، طبق روش Hong و همکاران سنجش شد (۳۰). حدود ۵ گرم نمونه از فیله (W_a) درون بشر شیشه‌ای قرار گرفت و سپس بشر و نمونه وزن شدند (W_b). بشر حاوی نمونه به‌مدت ۳۰ دقیقه درون حمام آبی با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور شد. پس از گذشت مدت زمان پخت، مجدداً بشر و نمونه وزن شدند (W_c). افت ناشی از پخت با رابطه زیر محاسبه گردید:

رابطه ۵: $[(W_b - W_c) / W_a] \times 100$ = (٪) افت وزنی پس از پخت

آنالیز بافت عضله: آنالیز بافت نمونه‌ها با استفاده از دستگاه سنجش بافت (Brookfield, USA) و با لودسل ۱۰ کیلوگرمی انجام شد. یک قطعه از عضله جلوی باله پشتی به ابعاد ۰/۷×۳/۵×۳/۵ سانتی‌متر از هر نمونه ماهی جدا و سپس با پروب به قطر ۵ سانتی‌متر و با سرعت ۰/۵ میلی‌متر بر دقیقه، تحت آزمون فشار (Compression) تا ۲۵٪ فشردگی (دو دفعه) قرار گرفت. آن‌گاه مقادیر فنریت، قابلیت جویدن، چسبندگی و غیره با استفاده از روش Bourne محاسبه شد (۳۱).

بررسی رنگ عضله: برای بررسی رنگ از یک کالریمتر پرتابل و با استفاده از روش Li و همکاران (۳۲) روی عضله نمونه‌های ماهی اقدام گردید. آن‌گاه شاخص‌های a* (قرمزی/سبزی)، b* (آبی/زردی) و L* (روشنایی/تیرگی) با دستگاه رنگ‌سنج مورد سنجش قرار گرفت. علاوه بر فاکتورهای ذکر شده، شاخص ته‌رنگ (Hue) و فام (Chroma) عضله با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (۳۳):

$$Hue= \arctan (b^*/a^*),\ Chroma = (a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$$

تجزیه و تحلیل آماری: آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. میانگین داده‌های حاصله با استفاده از آزمون t-student مورد مقایسه قرار گرفتند. داده‌های آزمایش به‌صورت انحراف معیار± میانگین نشان داده شده‌اند. برای پردازش داده‌ها از نرم‌افزار اکسل و جهت انجام آنالیز و مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ استفاده شد.

نتایج

میانگین فاکتورهای فیزیکوشیمیایی آب استخرهای پرورشی در دو سامانه باز و بازگردشی نسبی طراحی شده در جدول ۱ ذکر شده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود مقادیر آمونیاک کل و فسفر کل آب اختلاف معنی‌داری در دو تیمار آزمایشی طی دوره ۴۵ روزه نشان می‌دهد. بازگردش آب در سامانه بازگردشی نسبی موجب افزایش ۶/۷ برابری آمونیاک کل و ۶/۵ برابری فسفر کل آب در این تیمار در مقایسه با تیمار باز گردید. میانگین اکسیژن خروجی هر دو سامانه، بالای ۷/۵ میلی‌گرم بر لیتر بود. مرگ و میر ماهیان طی مدت ۴۵ روزه آزمایش به‌ترتیب ۱/۵ و ۳/۵ درصد در سامانه باز و بازگردشی نسبی بود. آنالیز تقریبی عضله ماهیان در دو تیمار آزمایشی مورد آزمون، در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج حاصله تغییر معنی‌داری را در میزان پروتئین خام و چربی لاشه در تیمار بازگردشی نسبی در مقایسه با تیمار باز نشان داد. ماده خشک و خاکستر عضله نیز، تغییراتی را در تیمار بازگردشی نشان دادند ولی این تغییرات از نظر آماری معنی‌دار نبود ($p>0/05$). مقادیر pH عضله کاهش و درصد رطوبت، افزایش معنی‌داری را در تیمار بازگردشی نسبی‌نسبت به تیمار باز نشان داد ($p<0/05$، شکل ۲). اما اندازه‌گیری ظرفیت نگه‌داری آب و افت طی پخت عضله، تغییر معنی‌داری را بین دو تیمار مورد بررسی نشان نداد ($p>0/05$، شکل ۲). به‌علاوه، آنالیز سختی، به‌هم پیوستگی، انعطاف‌پذیری، چسبندگی، فنریت، صمغی بودن و قابلیت جویدن عضله ماهیان، فاقد اختلاف معنی‌دار بین دو تیمار مورد آزمون بود ($p>0/05$، جدول ۳). در همین راستا، تغییرات حاصله در اندیس‌های رنگی عضله ماهیان پرورش یافته در دو سامانه مورد آزمون در پایان نمونه‌برداری، فاقد هر گونه اختلاف آماری معنی‌دار بود ($p>0/05$، جدول ۴).

جدول ۱: میانگین فاکتورهای فیزیکوشیمیایی آب در دو تیمار سامانه باز و سامانه بازگردشی نسبی طراحی شده

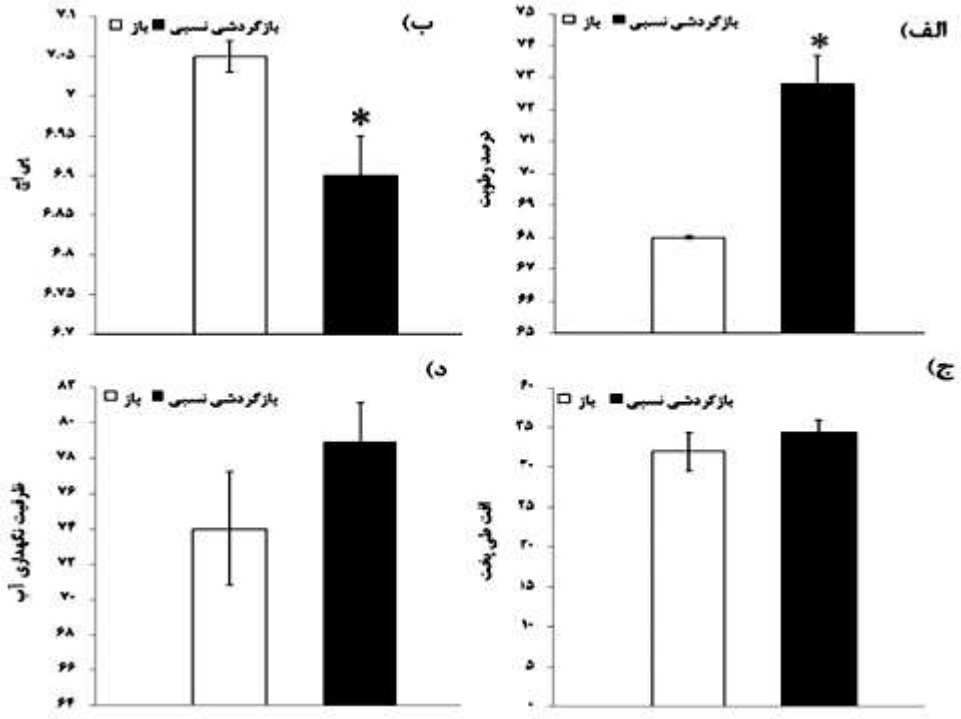
فاکتور	سامانه باز	سامانه بازگردشی نسبی
درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)	۰/۳±۱۳	۰/۵±۱۳
اکسیژن محلول (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۵±۷/۸	۰/۴ ±۷/۷
پی‌اچ	۰/۱±۷/۲	۰/۲ ±۷/۳
آمونیاک کل (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۰۲±۰/۲۸	*۰/۳±۱/۸۷
فسفر کل (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۰۵±۰/۱	*۰/۰۵±۰/۶۵
هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی‌متر)	۲۵±۷۳۰	۴۰±۸۴۵

داده‌های ارائه شده انحراف از معیار ± میانگین می‌باشد.

جدول ۲: تغییرات حاصله در آنالیز تقریبی عضله ماهی قزل‌آلای جوان پرورش یافته در دو سامانه باز و بازگردشی نسبی

سامانه	ماده خشک	خاکستر	پروتئین خام	چربی خام
باز	۳۱/۹ ± ۰/۰۳	۵/۴ ± ۰/۲	۵۱/۹ ± ۰/۸	۳۸/۸ ± ۰/۰۲
بازگردشی نسبی	۲۷/۲ ± ۰/۹	۵/۶ ± ۰/۲	*۵۹/۵ ± ۰/۸	*۳۱/۹ ± ۰/۰۲

داده‌های ارائه شده انحراف از معیار ± میانگین می‌باشد. وجود اختلاف معنی‌دار در دو تیمار با علامت * مشخص شده است ($p<0/05$).



شکل ۲: میزان رطوبت (الف)، pH (ب)، افت طی پخت (ج) و ظرفیت نگه‌داری آب (د) عضله (انحراف از معیار ± میانگین، n= ۵-۶) قزل‌آلای رنگین‌کمان (*O. mykiss*) جوان طی دوره ۴۵ روزه پرورش در دو سامانه باز و بازگردشی نسبی

(علامت * نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین دو تیمار در روز نمونه‌برداری می‌باشد (p<۰/۰۵))

جدول ۳: تغییرات آنالیز بافت عضله ماهی قزل‌آلای جوان پرورش یافته در دو سامانه باز و بازگردشی نسبی

سامانه	سختی (Hardness)	به‌هم پیوستگی (Adhesiveness)	انعطاف پذیری (Resilience)	چسبندگی (Cohesiveness)	فنریت (Spiringness)	صمغی بودن (Gumminess)	قابلیت جویدن (Chewiness)
باز	۳۴/۵ ± ۴/۵	۱/۳ ± ۰/۹	۰/۱۲ ± ۰/۰۴	۰/۲ ± ۰/۰۴	۳/۷ ± ۰/۷۸	۷/۷ ± ۱/۳۶	۲۹/۴ ± ۱۰/۶
بازگردشی نسبی	۴۱/۷ ± ۱۰/۶	۱/۷۵ ± ۰/۹	۰/۰۸ ± ۰/۰۴	۰/۲۳ ± ۰/۲	۴/۴ ± ۲/۳	۷/۹ ± ۴/۳	۲۷/۴ ± ۱۶/۷

داده‌های ارائه شده انحراف از معیار ± میانگین می‌باشد (n= ۶). وجود اختلاف معنی‌دار در دو تیمار با علامت * مشخص شده است (p<۰/۰۵).

جدول ۴: تغییرات حاصله در شاخص‌های رنگ عضله ماهی قزل‌آلای جوان پرورش یافته در دو سامانه باز و بازگردشی نسبی

سامانه	L*	a*	b*	Hue	Chroma
باز	۴۴/۵ ± ۳/۲	۱/۸ ± ۱/۴	۲۴/۷ ± ۱/۶	۱/۵ ± ۰/۰۶	۲۴/۸ ± ۱/۵
بازگردشی نسبی	۴۴/۹ ± ۲/۲	۱/۹ ± ۰/۹	۲۴/۴ ± ۱/۵	۱/۵ ± ۰/۰۴	۲۴/۵ ± ۱/۵

داده‌های ارائه شده انحراف از معیار ± میانگین می‌باشد (n= ۸).

بحث

آنالیز تقریبی: کیفیت لاشه مجموعه‌ای پیچیده از صفات شامل پارامترهایی نظیر بافت، ترکیب شیمیایی، رنگ و محتوای چربی است (۳۴). در مطالعه حاضر، افزایش معنی‌داری در میزان پروتئین خام و کاهش معنی‌داری در میزان چربی لاشه در تیمار بازگردشی نسبی در مقایسه با تیمار باز مشاهده گردید. آنالیز تقریبی لاشه می‌تواند اطلاعاتی پیرامون ذخیره‌سازی انرژی در ماهی پرورش یافته در سامانه‌های مختلف به‌دست دهد. به‌عنوان مثال، اختلاف در سرعت جریان آب بین دو سامانه بازگردشی نسبی و باز و نگه‌داری ماهی قزل‌آلا به‌مدت یک‌سال در آن‌ها، علاوه بر این‌که بر نرخ فعالیت و تحرک اثرگذار بود، منجر به تغییر در ترکیب تقریبی بافت و میزان ذخیره انرژی گردید. به‌نحوی‌که میزان چربی عضله کاهش و رطوبت عضله افزایشی را در ماهیان سامانه بازگردشی نسبی در مقایسه با ماهیان سامانه باز نشان داد (۳۵). نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های

تحقیق مذکور هم‌سو بود، به‌طوری‌که در مطالعه حاضر، اگرچه با ثابت نگه داشتن تراکم بارگذاری، از تفاوت جریان آب بین دو سامانه جلوگیری به‌عمل آمد، لیکن میزان چربی و رطوبت در لاشه ماهیان سامانه بازگردشی نسبی به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب کم‌تر و بیش‌تر از لاشه ماهیان سامانه باز بود. این موضوع نشان‌دهنده متاثر بودن ترکیب لاشه ماهیان از سامانه پرورشی و صرف انرژی بیش‌تر توسط ماهیان در سامانه بازگردشی نسبی می‌باشد. تحرک ماهی موجب تغییر ذخایر انرژی بدن و کاهش میزان چربی بافت لاشه ماهی (۳۶، ۳۷) به‌دلیل ارجحیت مصرف چربی جهت تامین توانایی شنای مداوم می‌شود (۳۸). علاوه بر این، فعالیت و تحرک بالای ماهیان، منجر به کاهش تجمع چربی در عضلات و متعاقباً بهبود کیفیت بافت عضله ماهی می‌گردد (۳۹). چنان‌چه گزارش شده است که پرورش عنبرماهی بزرگ (*Seriola dumerili*) در تانک‌های کوچک (۱۰ مترمکعب) و با تراکم نگه‌داری بیش‌تر (۵ کیلوگرم در مترمکعب) در مقایسه با پرورش در تانک‌های بزرگ (۵۰۰ مترمکعب) و تراکم کم‌تر (۴ کیلوگرم در مترمکعب) منجر به افزایش محتوای چربی عضله شد که ناشی از مصرف پائین‌تر انرژی طی دوره پرورش بود (۴۰). هم‌چنین، یافته‌های مطالعه حاضر با یافته‌های مطالعه ارزیابی اثرات شنای طولانی مدت بر ترکیب و کیفیت بافت عضله ماهی دهان بزرگ (*Micropterus salmoides*) هم‌خوانی داشت، چنان‌چه قرار گرفتن ماهی باس دهان بزرگ به‌مدت ۱۴ ماه در جریان آب با سرعتی معادل ۱/۲ طول بدن ماهی در ثانیه و انجام شنای مداوم، منجر به کاهش چربی و افزایش میزان پروتئین نسبت به ماهیانی شد که در جریان آب معمولی قرار داشتند (۴۱). چربی‌ها نقشی اساسی در کیفیت فیله ایفا می‌کنند زیرا بر پارامترهایی نظیر pH، رنگ و ظرفیت نگه‌داری آب عضله اثر می‌گذارند (۴۲، ۴۳). افزون بر این اشاره شده است که میزان چربی بر خصوصیات بافتی گوشت بدون چربی ماهی اثر می‌گذارد و افزایش چربی در ماهیان پرورشی منجر به کاهش سختی و قابلیت شکست فیله نسبت به گونه‌های وحشی می‌شود (۴۴).

pH، ظرفیت نگه‌داری آب و افت طی پخت: مقدار pH عضله به‌عنوان پارامتری مهم برای لاشه در نظر گرفته می‌شود و مقدار pH اولیه پائین، به‌دلیل تخریب و افت کیفیت لاشه ماهی است (۴۵). سطوح استرس در ماهی می‌تواند براساس مقادیر pH نیز بررسی شود. بر این اساس، استرس حاد با فعالیت بالای عضله ارتباط دارد و با گلیکولیز بی‌هوازی همراه می‌شود که به نوبه خود، منجر به کاهش سطوح pH عضله می‌شود (۴۶). در مطالعه حاضر، مقدار pH عضله در ماهیان سامانه بازگردشی نسبی به‌طور معنی‌داری کم‌تر از ماهیان سامانه باز بود که نشان می‌دهد پرورش در سامانه بازگردشی نسبی در طولانی مدت می‌تواند از طریق ایجاد استرس، موجب کاهش pH عضله گردد. مقادیر pH عضله در ماهی قزل‌آلا در فاصله زمانی ۲۰ دقیقه پس از کشتار تا ۲۴ ساعت پس از کشتار در دامنه ۶/۶۳ تا ۶/۱۷ بود (۴۷). ظرفیت نگه‌داری آب بافت عضله ماهی، اثری عمیق بر صفات کیفی نظیر تردی، آبدار بودن و طعم دارد و درنهایت، تعیین‌کننده ارزش تجاری محصول و پذیرش آن توسط مصرف‌کننده است(۴۸). هم‌چنین، افت طی پخت یکی از خصوصیات تکنولوژیکی مهم در کیفیت لاشه است و حداقل اتلاف وزن پس از پخت، از موارد مطلوب برای مصرف‌کنندگان ماهی است (۴۹). در مطالعه حاضر، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر ظرفیت نگه‌داری آب و افت طی پخت عضله ماهیان دو سامانه پرورشی مشاهده نشد. در مطالعه اثرات تغذیه با سطوح مختلف مکمل پروتئینی سوسک زرد آرد بر کیفیت فیله، مقدار افت طی پخت و ظرفیت نگه‌داری آب در فیله ماهی قزل‌آلا در گروه شاهد و بدون دریافت افزودنی به‌ترتیب ۱۱/۱۷٪ و ۹۵/۸۱٪ بود (۳۳). مقدار افت طی پخت لاشه ماهی قزل‌آلا بلافاصله پس از کشتار ۱۷/۸۰٪ بود (۴۷). در مطالعه دیگری که به بررسی اثر سطوح مختلف پروتئین گیاهی در جیره غذایی بر مقادیر افت طی پخت لاشه قزل‌آلا پرداخته بود، در ماهیان تغذیه شده با جیره تهیه شده از آرد ماهی، افت طی پخت ۱۶٪ بود (۴۹). هم‌چنین، ظرفیت نگه‌داری آب در فیله قزل‌آلای تغذیه شده با جیره شاهد در ارزیابی اثرات جیره‌های حاوی آرد جلبک کلپ و روغن کلزا، ۸۲/۷۰٪ بود (۱۵). در ماهی، مقادیر پائین افت طی پخت نشان‌دهنده کیفیت بالای گوشت می‌باشد (۵۰). در مجموع دو خصوصیت ظرفیت نگه‌داری آب و افت طی پخت نشان‌دهنده انسجام بافت عضله در حالت خام و پس از قرار گرفتن در معرض پخت می‌باشند و مقادیر بالای ظرفیت نگه‌داری آب و مقادیر پائین افت طی پخت نشان‌دهنده کیفیت بالای لاشه ماهی است. در مطالعه حاضر، گرچه مقادیر ظرفیت نگه‌داری و افت طی پخت به‌ترتیب کم‌تر و بیش‌تر از یافته‌های ذکر شده بودند، لیکن مقادیر اندازه‌گیری شده، نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و قابل توجه کیفیت لاشه ماهیان پرورش یافته در دو سامانه باز و بازگردشی نسبی بود.

آنالیز بافت: بافت عضله یک صفت کیفی مهم در ماهی است که به‌واسطه تعیین پارامترهایی هم‌چون سختی، به‌هم پیوستگی، ظرفیت نگه‌داری آب، pH و غیره تعریف می‌شود (۵۱). در مطالعه حاضر نیز گرچه اختلاف معنی‌داری بین صفات ترکیب بافت عضله در ماهیان دو سامانه مشاهده نشد، لیکن میزان صفات سختی، به‌هم پیوستگی، چسبندگی، فنریت و شاخص صمغی بافت عضله در ماهیان سامانه بازگردشی نسبی که دارای میزان چربی کم‌تری نسبت به ماهیان سامانه باز بودند، بالاتر بود. در ماهی باس دهان بزرگ (*Micropterus salmoides*)، عضله ماهیانی که به‌دلیل قرار گرفتن

در معرض جریان آب، دارای سرعت شنای طولانی مدت ۱/۲ برابر طول بدن ماهی در ثانیه بودند، علاوه بر این‌که میزان چربی کم‌تری داشت، دارای مقادیر بالاتری از صفات سختی، فنریت، شاخص صمغی و قابلیت جویدن نسبت به بافت عضله ماهیان بدون شنا و فعالیت طولانی مدت بود (۴۱). نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه مذکور هم‌خوانی داشت. لازم به ذکر است که همبستگی منفی قابل توجه بین میزان چربی و سختی عضله در مطالعات پیشین گزارش شده است (۵۲). در مطالعه حاضر نیز رابطه معکوس بین چربی و میزان سختی عضله مشاهده گردید.

رنگ لاشه: رنگ گوشت در لاشه آزادماهیان و از جمله قزل‌آلا یک خصوصیت بصری مهم مرتبط با کیفیت بوده و علاوه بر این‌که در کنار پارامترهای بیوشیمیایی معیار بسیار مهمی برای مصرف کننده، جهت ارزیابی کیفیت گوشت ماهی است، عاملی تاثیرگذار در تصمیم مصرف کننده برای خرید ماهی می‌باشد (۵۳). میانگین شاخص‌های رنگ عضله ماهی قزل‌آلا ۲۴ ساعت پس از کشتار برای *L (شفافیت و روشنایی) ۵۵/۰۳، *a (طیف رنگی قرمز تا سبز) ۷/۰۱ و *b (طیف رنگی آبی تا زرد) ۹/۶۱ بود (۴۷). رنگ فیله ماهی قزل‌آلا در ماهیان تغذیه شده با جیره تجاری و بدون افزودنی در مطالعه استفاده از سطوح مختلف پروتئین سوسک زرد آرد برای *L (شفافیت و روشنایی) ۵۳/۸۷، *a (طیف رنگی قرمز تا سبز) ۱/۹۴- و *b (طیف رنگی آبی تا زرد) ۲/۶۵ بود (۳۳). در مطالعه حاضر، شاخص‌های رنگ عضله بین ماهیان پرورش یافته در سامانه‌های بازگردشی نسبی و باز تفاوت قابل توجهی نداشتند و به‌ترتیب برای شاخص *L (شفافیت و روشنایی) ۴۴/۵ و ۴۴/۹، *a (طیف رنگی قرمز تا سبز) ۱/۸ و ۱/۹ و *b (طیف رنگی آبی تا زرد) ۲۴/۷ و ۲۴/۴ بود که نشان‌دهنده رنگ معمول در مقایسه با سایر مطالعات است. با افزایش مقدار رنگ سبز در طیف رنگی و کاهش مقدار شاخص *a، میزان مقبولیت ماهی نزد مصرف‌کنندگان کاهش می‌یابد (۵۴). از این منظر، رنگ لاشه ماهیان مطالعه حاضر مطلوب بود.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مواجهه ۴۵ روزه با پروتکل برگشت آب طراحی شده، باعث تغییر برخی از فاکتورهای فیزیکوشیمیایی آب و نیز تغییر جزئی در کیفیت لاشه می‌گردد. مهم‌ترین تفاوت‌های قابل توجه در صفات کیفی در عضله ماهیان پرورش یافته در دو سامانه بازگردشی نسبی و باز، مقدار چربی و pH عضله بود. گرچه این دو پارامتر در سنجش کیفیت اهمیت دارند، لیکن به تنهایی نمی‌توانند معیاری برای ارزیابی کیفیت لاشه ماهی باشند، زیرا سایر پارامترهای مهم اثرگذار در کیفیت شامل ظرفیت نگه‌داری آب، افت طی پخت و صفات مهمی هم‌چون سختی، به‌هم پیوستگی و فنریت در آنالیز بافت عضله ماهیان هر دو سامانه پرورشی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. بر این اساس، با توجه به گستردگی و پیچیدگی مفهوم کیفیت عضله در ماهیان پرورشی و عوامل متعدد تاثیرگذار بر آن، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، سایر جنبه‌های موثر بر تعیین کیفیت لاشه ماهی ازجمله ارزیابی حسی و ارزش غذایی شامل ترکیب اسیدهای چرب، اسیدهای آمینه و عناصر مغذی در ماهی قزل‌آلا پرورش یافته در دو سامانه رایج بازگردشی نسبی و باز مورد مطالعه قرار گیرد تا درک جامع‌تری از اثر عوامل محیطی و روش پرورش بر کیفیت لاشه قزل‌آلا به‌دست آید.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله مراتب سپاسگزاری خود را از پرسنل مجموعه صدف حصار تربت‌حیدریه به‌جهت مساعدت‌هایی که جهت انجام این تحقیق نمودند، ابراز می‌دارند. هم‌چنین، این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی درون دانشگاهی با شماره ۱/۵۷۲۴۱ مصوب مورخ ۱۴۰۱/۲/۱۹ دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد.

منابع

1. **Stringer, L.C., Mirzabaev, A., Benjaminsen, T.A, Harris, R.M., Jafari, M., Lissner, T.K., Stevens, N. and Tirado von der Pahlen, C., 2021.** Climate change impacts on water security in global drylands. One Earth. 4(6): 851-864. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.05.010.
2. **Li, H., Cui, Z., Cui, H., Bai, Y., Yin, Z. and Qu, K., 2023.** A review of influencing factors on a recirculating aquaculture system: Environmental conditions, feeding strategies, and disinfection methods. Journal of the World Aquaculture Society. doi:10.1111/jwas.12976.
3. **Lindholm-Lehto, P.C., 2022.** Developing a robust and sensitive analytical method to detect off-flavor compounds in fish. Environmental Science and Pollution Research. 29(37): 55866-55876. https://doi.org/10.1007/s11356-022. 19738-2.
4. **Ellis, T., North, B., Scott, A.P., Bromage, N.R., Porter, M. and Gadd, D., 2002.** The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. Journal of Fish Biology. 61(3): 493-531. https://doi.org/10.1111/j.1095. 8649.2002.tb00893x.
5. **Summerfelt, S.T., Davidson, J.W., Waldrop, T.B., Tsukuda, S.M. and Bebak-Williams, J., 2004.** A partial-reuse system for Coldwater aquaculture. Aquacultural Engineering. 31: 157-181. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2004. 03.005.
6. **Summerfelt, S.T., Wilton, G., Roberts, D., Rimmer, T. and Fonkalsrud, K., 2004.** Developments in recirculating systems for Arctic char culture in North America. Aquacultural Engineering. 30: 31-71. https://doi.org/10. 1016/ j. aquaeng.2003.09.001
7. **d'Orbcastel, E.R., Blancheton, J.P. and Belaud, A., 2009.** Water quality and rainbow trout performance in a Danish Model Farm recirculating system: Comparison with a flow through system. Aquacultural Engineering. 40: 135-143. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2009.02.002.

8. **d'Orbcastel, E.R., Person-Le Ruyet, J., Le Bayon N. and Blancheton J.P., 2009.** Comparative growth and welfare in rainbow trout reared in recirculating and flow through rearing systems. Aquacultural Engineering. 40(2): 79-86. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.11.005.

9. **North, B.P., Turnbull, J.F., Ellis, T., Porter, M.J., Migaud, H., Bron, J. and Bromage, N.R., 2006.** The impact of stocking density on the welfare of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture. 255(1): 466-479. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.01.004.

10. **Videler, J.J., 2011.** An opinion paper: emphasis on white muscle development and growth to improve farmed fish flesh quality. Fish physiology and biochemistry. 37(2): 337-343. https://doi.org/10.1007/s10695-011-9501-4.

11. **Sun, W.T., He, M., Xu, X.Y., Li, X.Q., Pan, W.Q. and Leng, X.J., 2019.** Comparison study of three compounds in Eucommia ulmoides on growth, flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). Aquaculture Nutrition. 25(4): 906-916. https://doi.org/10.1111/anu.12909.

12. **Tie, H.M., Wu, P., Jiang, W.D., Liu, Y., Kuang, S.Y., Zeng, Y.Y., Jiang, J., Tang, L., Zhou, X.Q. and Feng, L., 2019.** Dietary nucleotides supplementation affects the physicochemical properties, amino acid and fatty acid constituents, apoptosis and antioxidant mechanisms in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) muscle. Aquaculture. 502: 312-325. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.045.

13. **Yuan, J., Ni, M., Liu, M., Wang, H., Zhang, C., Mi, G. and Gu, Z., 2019.** Analysis of the growth performances, muscle quality, blood biochemistry and antioxidant status of *Micropterus salmoides* farmed in in-pond raceway systems versus usual-pond systems. Aquaculture. 511: 734241. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734241.

14. **Hu, B., Zhou, J., Qiu, H., Lai, X., Li, J., Wu, D., Sheng, J. and Hong, Y., 2021.** Comparison of nutritional quality and volatile flavor compounds among bighead carp from three aquaculture systems. Saudi Journal of Biological Sciences 28(8): 4291-4299. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.03.079.

15. **Quiñones, J., Díaz, R., Dantagnan, P., Hernández, A., Valdes, M., Lorenzo, J.M., Cancino, D., Sepúlveda, N. and Farías, J.G., 2021.** Dietary inclusion of *Durvillaea antarctica* meal and rapeseed (*Brassica napus*) oil on growth, feed utilization and fillet quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture. 530: 735882. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735882.

16. **De Francesco, M., Parisi, G., Pérez-Sanchez, J., Gomez-Réqueni, P., Médale, F., Kaushik, S.J., Mecatti, M. and Poli, B.M., 2007.** Effect of high-level fish meal replacement by plant proteins in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) on growth and body/fillet quality traits. Aquaculture Nutrition. 13(5): 361-372. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00485.x.

17. **Sánchez-Lozano, N.B., Martínez-Llorens, S., Tomás-Vidal, A. and Cerdá, M.J. 2009.** Effect of high-level fish meal replacement by pea and rice concentrate protein on growth, nutrient utilization and fillet quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*, L.). Aquaculture. 298(1-2): 83-89. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.09.028.

18. **Cai, W.C., Jiang, G.Z., Li, X.F., Sun, C.X., Mi, H.F., Liu, S.Q. and Liu, W.B., 2018.** Effects of complete fish meal replacement by rice protein concentrate with or without lysine supplement on growth performance, muscle development and flesh quality of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*). Aquaculture Nutrition. 24(1): 481-491. https://doi.org/10.1111/anu.12581.

19. **Zhao, H., Xia, J., Zhang, X., He, X., Li, L., Tang, R., Chi, W. and Li, D., 2018.** Diet affects muscle quality and growth traits of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*): a comparison between grass and artificial feed. Frontiers in Physiology. 9: 283. https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00283.

20. **Rosas, V.T., Monserrat, J.M., Bessonart, M., Magnone, L., Romano, L.A. and Tesser, M.B., 2019.** Fish oil and meal replacement in mullet (*Mugil liza*) diet with Spirulina (*Arthrospira platensis*) and linseed oil. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology. 218: 46-54. https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2018.12.009.

21. **Erikson, U., Sigholt, T., Rustad, T., Einarsdottir, I.E. and Jørgensen, L., 1999.** Contribution of bleeding to total handling stress during slaughter of Atlantic Salmon. Aquaculture International. 7: 101-115. https://doi.org/10.1023/A:1009236628690.

22. **Auffret, M., Yergeau, É., Pilote, A., Proulx, É., Proulx, D., Greer, C.W., Vandenberg, G. and Villemur, R., 2013.** Impact of water quality on the bacterial populations and off-flavours in recirculating aquaculture systems. FEMS microbiology ecology. 84(2): 235-247. https://doi.org/10.1111/1574-6941.12053.

23. **Rasmussen, R.S., 2001.** Quality of farmed salmonids with emphasis on proximate composition, yield and sensory characteristics. Aquaculture Research. 32(10): 767-786. https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2001.00617.x.

24. **Davidson, J.W., Kenney, P.B., Manor, M., Good, C.M., Weber, G.M., Aussanasuwannakul, A., Turk, P.J., Welsh, C. and Summerfelt, S.T., 2014.** Growth performance, fillet quality, and reproductive maturity of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cultured to 5 kilograms within freshwater recirculating systems. Journal of aquaculture research and development. 5(4): 1-9. https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000238.

25. **Hassanpour, B., Ismail, M.M., Mohamed, Z. and Kamarulzaman, N.H., 2011.** Factors affecting technical change of productivity growth in rainbow trout aquaculture in Iran. African Journal of Agricultural Research. 6(10): 2260-2272. DOI: 10.5897/AJAR10.467.

26. **Zahedi, S., Akbarzadeh, A., Mehrzad, J., Noori, A. and Harsij, M., 2019.** Comparison of growth parameters, cortisol and muscle gene expression of rainbow trout reared in an open and water reuse system. Journal of Applied Ichthyological Research. 7(3): 109-124 (In Persian). http://jair.gonbad.ac.ir/article-1-570-en.html.

27. **AOAC. 1990.** Association of Official Analytical Chemists, 15th (end), procedure. 984. 25.

28. **AOAC. 2005.** Official Methods of Analysis. 18th ed. Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

29. **Park J.W., 2005.** Surimi and Surimi Seafood (Second Edition). CRC Press, Taylor & Francis Group (961 pages)

30. **Hong, H., Luo, Y., Zhou, Z., Bao, Y., Lu, H. and Shen, H., 2013.** Effects of different freezing treatments on the biogenic amine and quality changes of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) heads during ice storage. Food Chemistry. 138(2-3): 1476-1482. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.031.

31. **Bourne, M.C., 1978.** Texture profile analysis. Food Technology. 32(7): 62-66.

32. **Li, D., Zhao, H., Muhammad, A.I., Song, L., Guo, M. and Liu, D., 2020.** The comparison of ultrasound-assisted thawing, air thawing and water immersion thawing on the quality of slow/fast freezing bighead carp (*Aristichthys*

44. **Rincón, L., Castro, P.L., Álvarez, B., Hernández, M.D., Álvarez, A., Claret, A., Guerrero L. and Gines, R., 2016.** Differences in proximal and fatty acid profiles, sensory characteristics, texture, colour and muscle cellularity between wild and farmed blackspot seabream (*Pagellus bogaraveo*). Aquaculture. 451: 195-204. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.09.016.

45. **Gan, L., Jiang, W.D., Wu, P., Liu, Y., Jiang, J., Li, S.H., Tang, L., Kuang, S.Y., Feng, L. and Zhou, X.Q., 2014.** Flesh quality loss in response to dietary isoleucine deficiency and excess in fish: a link to impaired Nrf2 dependent antioxidant defense in muscle. PLoS One. 9(12): 115129. https://doi.org/10.1371/journal.pone.00115129.

46. **Poli, B.M., Parisi, G., Scappini, F., Zampacavallo, G., 2005.** Fish welfare and quality as affected by pre-slaughter and slaughter management. Aquaculture International. 13: 29-49. https://doi.org/10.1007/s10499-004-9035-1.

47. **El Rammouz, R., Abboud, J., Abboud, M., El Mur, A., Yammine, S., Jammal, B. 2013.** pH, rigor mortis and physical properties of fillet in fresh water fish: the case of rainbow trout (*Oncorynchus mykiss*). The Journal of Applied Sciences Research. 9: 5746-5755.

48. **Dong, X.P., Wu, Q., Li, D.Y., Wang, T., Pan, J.F., Zheng, J.J., Fu, X.X., Qi, L.B. and Chen, G.B., 2017.** Physicochemical, micro-structural, and textural properties of different parts from farmed common carp (*Cyprinus carpio*). International Journal of Food Properties. 20(4): 946-955. https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1190375.

49. **Brinker, A. and Reiter, R., 2011.** Fish meal replacement by plant protein substitution and guar gum addition in trout feed, Part I: Effects on feed utilization and fish quality. Aquaculture. 310(3-4): 350-360. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.09.041.

50. **Wang, B., Liu, Y., Feng, L., Jiang, W.D., Kuang, S.Y., Jiang, J., Li, S.H., Tang, L. and Zhou, X.Q., 2015.** Effects of dietary arginine supplementation on growth performance, flesh quality, muscle antioxidant capacity and antioxidant-related signalling molecule expression in young grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). Food chemistry. 167: 91-99. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.091.

51. **Picard, B., Lefèvre, F. and Lebret, B., 2012.** Meat and fish flesh quality improvement with proteomic applications. Animal Frontiers. 2(4):18-25. 10.2527/af.2012-0058

52. **Nielsen, D., Hyldig, G., Nielsen, J. and Nielsen, H.H., 2005.** Liquid holding capacity and instrumental and sensory texture properties of herring (*Clupea harengus* L.) related to biological and chemical parameters. Journal of texture studies. 36(2): 119-138. https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2005.00006.x

53. **Yeşilayer, N., 2020.** Comparison of Flesh Colour Assessment Methods for Wild Brown Trout (*Salmo trutta macrostigma*), Farmed Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Farmed Atlantic Salmon (*Salmo salar*). Pakistan Journal of Zoology. 52(3).

54. **Schafberg, M., Loest, K., Müller-Belecke, A. and Rohn, S., 2020.** Impact of processing on the antioxidant activity of a microorganism-enriched fish feed and subsequent quality effects on fillets of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture. 518: 734633. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734633

nobilis) fillets. Food Chemistry. 320: 126614. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126614.

33. **Iaconisi, V., Bonelli, A., Pupino, R., Gai, F. and Parisi, G., 2018.** Mealworm as dietary protein source for rainbow trout: Body and fillet quality traits. Aquaculture. 484: 197-204. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture. 2017.11.034.

34. **Fauconneau, B., Alami-Durante, H., Laroche, M., Marcel, J. and Vallot, D., 1995.** Growth and meat quality relations in carp. Aquaculture. 129(1-4): 265-297. https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00309-C.

35. **Twibell, R.G., Strailey, K. and Hawke, K.A., 2018.** Effects of a partial reuse aquaculture system (PRAS) on proximate composition and smoltification of brood year 2017 steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) reared at Hagerman National Fish Hatchery. Biology.

36. **Jobling, M., Baardvik, B.M., Christiansen, J.S. and Jørgensen, E.H., 1993.** The effects of prolonged exercise training on growth performance and production parameters in fish. Aquaculture International. 1: 95-111. https://doi.org/10.1007/BF00692614.

37. **Simpkins, D.G., Hubert, W.A., Del Rio, C.M. and Rule, D.C., 2003.** Physiological responses of juvenile rainbow trout to fasting and swimming activity: effects on body composition and condition indices. Transactions of the American Fisheries Society. 132(3): 576-589. https://doi.org/10.1577/1548-8659(2003)132<0576:PROJRT> 2.0.CO;2.

38. **Lauff, R.F. and Wood, C.H., 1996.** Respiratory gas exchange, nitrogenous waste excretion, and fuel usage during aerobic swimming in juvenile rainbow trout. Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology. 166(8): 501-509. https://doi.org/10.1007/BF02338293.

39. **Periago, M.J., Ayala, M.D., López-Albors, O., Abdel, I., Martínez, C., García-Alcázar, A., Ros, G. and Gil, F., 2005.** Muscle cellularity and flesh quality of wild and farmed sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. Aquaculture. 249(1-4): 175-188. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.02.047.

40. **Rodríguez-Barreto, D., Jerez, S., Cejas, J.R., Martin, M.V., Acosta, N.G., Bolaños, A. and Lorenzo, A., 2017.** Effect of different rearing conditions on body lipid composition of greater amberjack broodstock (*S eriola dumerili*). Aquaculture Research. 48(2): 505-520. https://doi.org/10.1111/are.12898.

41. **Harimana, Y., Tang, X., Xu, P., Xu, G., Karangwa, E., Zhang, K., Sun, Y., Li, Y., Ma, S., Uriho, A. and Tuyishimire, M.A., 2019.** Effect of long-term moderate exercise on muscle cellularity and texture, antioxidant activities, tissue composition, freshness indicators and flavor characteristics in largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Aquaculture. 510: 100-108. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.05.051.

42. **Ortiz, J., Vivanco, J.P., Quitral, V., Larraín, M.A., Concha, G. and Aubourg, S.P., 2012.** Changes in freshness during frozen storage of farmed Coho salmon: effect of replacement of synthetic antioxidants by natural ones in fish feeds. North American Journal of Aquaculture. 74(2): 224-229. https://doi.org/10.1080/15222055. 2012.675994.

43. **Cheng, J.H., Sun, D.W., Zeng X.A. and Liu, D., 2015.** Recent advances in methods and techniques for freshness quality determination and evaluation of fish and fish fillets: A review. Critical reviews in food science and nutrition. 55(7): 1012-1225. https://doi.org/10.1080/10408398.2013.769934.