



University of Guilan

University of Guilan with collaboration of Iranian
Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 7, No. 2, 2021, pages: 11-25



The effect of short-term food deprivation and re-feeding on the resistance of juvenile Caspian roach, *Rutilus caspicus* to the salinity of the Caspian Sea: growth performance, stress indices and immune response

Rabeyeh Naemi¹, Seyedeh Ainaz Shirangi^{1*}, Hossein Adineh², Hadiseh Kashiri³

1- Department of Biology, Faculty of Basic Sciences & Engineering, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Golestan, Iran

2- Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Golestan, Iran

3- Department of Aquatic Ecology, Faculty of Fisheries & Environment, Gorgan University of Agricultural and Natural Resources, Gorgan, Golestan, Iran

Received 10 March 2021

Revised 30 April 2021

Accepted 15 May 2021

KEYWORDS

Caspian roach *Rutilus caspicus*

Starvation-refeeding

Salinity stress

Ion regulation

Immune system

ABSTRACT

This study was performed to evaluate the ability of juvenile Caspian roach *Rutilus caspicus* (1.4 ± 0.018 g) to acclimate to the salinity of the Caspian Sea by the direct transfer method with short-term starvation and re-feeding periods within 60 days. So, 450 juvenile fish were randomly distributed into 5 groups: three groups were deprived from feeding for 3, 5 and 7 days (3S, 5S and 7S). They were then re-fed for 10 days and this cycle was repeated during 46 days. Fourth group were unfed during the whole experimental period (S) and fifth group were continuously fed (F or control group). All fish after the starvation-refeeding in freshwater were directly transferred to the Caspian Sea water for 14 days, and stayed during this period. Growth performance were evaluated for all of the experimental treatments. Some of stress indices (osmolality, cortisol and glucose) and immune response (total immunoglobulin and lysozyme) concerning to the alternative nutritional periods and abrupt salinity elevation were measured in fish blood. The highest and lowest fish growth performance were obtained in F and S groups, respectively. Osmolality and lysozyme activity were not statistically significant between F, 3S and 5S groups. Total immunoglobulin was significantly increased in 5S (31.50 ± 0.99 mg/g). The highest cortisol and glucose concentrations were obtained in groups 7S and S compared to the other experimental groups. The results showed that, not only the juvenile roach with the short-term feed deprivation periods in 3S and 5S groups were not affected by physiological stress due to starvation and increased salinity, but also their growth performance enhanced because of living in iso-osmotic environment of the Caspian Sea.

*Corresponding author: ainazshirangi@gmail.com



تغذیه آبریان

سال هفتم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰، صفحات ۲۵-۱۱

"مقاله پژوهشی"

تأثیر دوره‌های کوتاه مدت محرومیت غذایی و تغذیه مجدد بر مقاومت بچه ماهی کلمه دریای خزر (*Rutilus caspicus*) نسبت به شوری آب دریای خزر: عملکرد رشد، شاخص استرس و پاسخ ایمنی

رابعه ناعمی^۱، سیده آیناز شیرنگی^{۱*}، حسین آدینه^۲، حدیثه کشیری^۳

۱- گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه و فنی مهندسی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، گلستان

۲- گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، گلستان

۳- گروه تولید و بهره‌برداری، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، گلستان

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۲/۱۰

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۲۰

کلمات کلیدی	چکیده
ماهی کلمه دریای خزر <i>Rutilus caspicus</i> گرسنگی کوتاه مدت تغذیه مجدد تنظیم یونی سیستم ایمنی	این مطالعه با هدف بررسی توان بچه ماهیان کلمه دریای خزر (<i>Rutilus caspicus</i>) ($1/4 \pm 0/018$ g) در تحمل شوری آب دریای خزر به روش انتقال مستقیم طی دوره‌های کوتاه مدت گرسنگی و تغذیه مجدد به مدت ۶۰ روز انجام شد. به این منظور، ۴۵۰ عدد بچه‌ماهی به‌طور تصادفی در پنج گروه توزیع شد: سه گروه از ماهیان پس از قرار گرفتن در دوره‌های محرومیت غذایی ۳، ۵ و ۷ روز (3S، 5S و 7S)، به مدت ۱۰ روز مجدداً تغذیه شدند و این چرخه به مدت ۴۶ روز تکرار شد. گروه چهارم، در تمام مدت آزمایش در محرومیت غذایی قرار گرفتند (S) و گروه پنجم به‌طور پیوسته تغذیه شدند (F یا گروه کنترل). تمام ماهیان به‌طور مستقیم به آب دریای خزر به مدت ۱۴ روز انتقال داده شدند و طی این مدت نیز غذادهی نشدند. عملکرد رشد در تمامی تیمارهای مورد آزمایش محاسبه شد. برخی از شاخص‌های استرس (اسمولالیت، کورتیزول و گلوکز) و پاسخ ایمنی (ایمونوگلوبولین کل و فعالیت لیزوزیم) نسبت به دوره‌های متناوب تغذیه‌ای و افزایش ناگهانی شوری در بدن ماهیان اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، ماهیان گروه‌های 3S و 5S، پس از گروه F، دارای نرخ رشد مناسبی بودند. میزان اسمولالیت، کورتیزول و گلوکز آنها پس از انتقال شوری و عدم تغذیه به مدت دو هفته نسبت به گروه F تفاوتی نشان نداد و دستگاه ایمنی آنها نیز تحریک نشد. بنابراین، بچه ماهیان کلمه با دوره‌های گرسنگی کوتاه مدت، نه تنها تحت تأثیر استرس فیزیولوژیک ناشی از گرسنگی و افزایش شوری قرار نمی‌گیرند، بلکه عملکرد رشد آنها نیز به‌واسطه زندگی در محیط ایزواسموتیک دریای خزر بهبود می‌یابد.

مقدمه

در محیط زیست آبی، تغییر نامتعارف در هر یک از عوامل زیستی ممکن است منجر به بروز استرس شده و جاندار برای سازگار شدن با شرایط زیست محیطی دچار تغییرات فیزیولوژیک شود. از این رو، استرس در محیط با تحریک و تولید هورمون‌های کورتیکوستروئیدی مانند کورتیزول در بدن آبی اثرات خود را نشان می‌دهد (Evans et al. 2005). در صورت بروز استرس مزمن، جاندار ممکن است توانایی تطبیق‌پذیری خود را از دست دهد و این امر منجر به کاهش رشد و کاهش توان دستگاه ایمنی شود و در نهایت، حتی مرگ آن را به دنبال داشته باشد (Urbina and Glover, 2015). تغییرات شوری یکی از فراسنجه‌های استرس‌زای زیست‌محیطی محسوب می‌شود که بر توان فیزیولوژیک آبزیان تأثیرگذار است (Rubio et al. 2005). سازگاری با آب شور و حفظ تعادل یونی بدن، مرحله‌ای حساس در حیات ماهیان به خصوص در زمان رهاسازی و انتقال بچه‌ماهیان از آب رودخانه به دریاست (Cataldi et al. 1998) که در نتیجه آن، ترکیبات یونی، هورمونی و بیوشیمیایی بدن دچار تغییر می‌شود و برای بازگشت به تعادل یونی باید میزان انرژی زیادی مصرف شود (Marshall and Singer, 2002). در ماهیان استخوانی، تنظیم یون‌ها و آب با فیزیولوژی گوارش در رقابت است (Taylor et al. 2010; Wood et al. 2010; Alix et al. 2017). از بین اندام‌های مختلف تنظیم‌کننده اسمزی، سلول‌های کلراید (سلول‌های غنی از میتوکندری) آبشش نقش بسیار مهمی در حفظ هموستاز مایعات داخلی بدن دارند. روده ماهیان نیز علاوه بر جذب مواد مغذی، یکی از اندام‌های مهم در ایجاد تعادل یونی است (Evans et al. 1999; Varsamos et al. 2005; Whittamore, 2011).

در طبیعت، محرومیت و محدودیت غذایی در بسیاری از گونه‌های ماهیان به‌خصوص در مرحله نوزادی، یکی از مهم‌ترین عوامل مرگ و میر است (Shoji et al. 2002) که می‌تواند اثرات منفی بر عملکرد رشد و ترکیبات بدن آبزیان داشته باشد (آدینه و همکاران، ۱۳۹۶). در نتیجه، محرومیت غذایی (گرسنگی) به‌عنوان یک عامل استرس‌زای

دیگر، می‌تواند باعث کاهش بسیار زیاد ذخایر انرژی در بدن ماهی، کاهش رشد، تخریب سلولی لوله گوارش و تغییرات بافت شناسی آن (اندازه چین‌های روده و سطح پرزهای آن)، و حتی منجر به تحلیل بافت‌ها به‌منظور زنده ماندن آنها شود (Love, 1970; German et al. 2010).

ماهی کلمه دریای خزر با نام علمی *Rutilus caspius* یکی از گونه‌های با ارزش اقتصادی در دریای خزر است. این گونه با داشتن ارزش خوراکی برای مصارف انسانی و همچنین، با قرارگیری در چرخه تغذیه‌ای تاسماهیان دریای خزر نقش اساسی در تأمین پروتئین ایفا می‌کند (Coad, 1980). طی دهه‌های گذشته، ذخایر این ماهی در اثر تخریب مناطق تخم‌ریزی در رودخانه‌ها و همچنین، تلفات بچه‌ماهیان در زمان ورود به دریای خزر به دلیل تخریب زیستگاه در اثر برداشت شن و ماسه و ورود سموم کشاورزی، خانگی و صنعتی کاهش یافته است (Kiabi et al. 1999). با توجه به اهمیت اقتصادی و بوم‌شناختی ماهی کلمه، همه ساله بازسازی ذخایر این گونه در دریای خزر با تکثیر مصنوعی و رهاسازی بچه‌ماهیان در رودخانه‌های اطراف دریای خزر انجام می‌شود، اما به نظر می‌رسد روش مذکور در حفاظت و بازسازی ذخایر این گونه چندان کارآمد نباشد (قربانی و همکاران، ۱۳۹۸). تغییر در رژیم غذایی و محدودیت غذایی هنگام انتقال این ماهیان از آب شیرین به دریای خزر، با کاهش اشتها و رشد همراه است و ممکن است یکی از عوامل محدودکننده موفقیت در بازسازی ذخایر باشد (Van Dijk et al. 2002; Abolfathi et al. 2012). در مطالعات پیشین، مشاهده شده است که سازگاری با افزایش شوری محیط آب اطراف در ماهیان، فرایندی انرژی‌خواه است و در صورتی که ماهیان گرسنه به سمت دریا رها سازی شوند، اندام‌های دخیل در تنظیم اسمزی به‌درستی عمل نکرده و ماهی پس از اتمام ذخایر انرژی از طریق مصرف منابع ذخیره بدن مانند چربی‌ها، گلیکوژن و در نهایت، پروتئین، توانایی لازم برای سازش با محیط را از دست می‌دهد. به این ترتیب، استرس شدیدی به بچه‌ماهیان وارد می‌شود و عدم موفقیت کامل در سازش با افزایش شوری رخ می‌دهد (محسنی و همکاران، ۱۳۹۵; Polakof et al. 2006).

مواد و روش‌ها

طرح آزمایش و تیمار بندی نمونه‌ها

ماهی کلمه (*Rutilus caspicus*) با میانگین وزنی ۰/۱۸ ± ۱/۴ گرم از مرکز تکثیر و پرورش ماهیان استخوانی سیجوال (بندر ترکمن، استان گلستان، ایران) تهیه شد و به آزمایشگاه آبی پروری دانشگاه گنبد کاووس انتقال یافت. تعداد ۴۵۰ قطعه بچه ماهی کلمه پس از طی ۲ هفته دوره سازگاری با محیط در ۱۵ مخزن پلاستیکی به طور تصادفی در ۵ گروه و هر یک با ۳ تکرار توزیع شد (۳۰ قطعه ماهی در داخل هر مخزن ۳۰ لیتری؛ ۱ گرم در هر لیتر). سه گروه از بچه ماهیان ابتدا در دوره‌های مختلف محرومیت غذایی ۳، ۵ و ۷ روز (گروه‌های 3S، 5S و 7S)، و سپس مورد تغذیه مجدد (۱۰ روز) به مدت ۴۶ روز قرار گرفتند. گروه چهارم از ماهیان در تمام مدت آزمایش در محرومیت غذایی قرار داشتند (گروه S) و یک گروه از ماهیان به‌عنوان گروه کنترل در تمام دوره آزمایش پیوسته تغذیه شدند (گروه F). به منظور بررسی مقاومت ماهیان در تیمارهای مختلف آزمایشی در مواجهه با افزایش شوری طی انتقال به آب لب شور دریای خزر، تمام ماهیان به‌طور مستقیم به آب دریای خزر به مدت دو هفته (۱۴ روز) انتقال داده شدند و طی این مدت نیز غذادهی نشدند. به این ترتیب، کل دوره آزمایش ۶۰ روز در نظر گرفته شد. در دوره‌های غذادهی، بچه ماهیان در حدود ۳٪ وزن بدن در سه نوبت در طول شبانه روز تغذیه شدند. در دوره نگهداری ماهی و اعمال محرومیت غذایی از آب شهری کلرزدایی شده استفاده شد. آب لب شور مورد استفاده در این مطالعه از دریای خزر تأمین شد. فراسنج-های فیزیکیوشیمیایی آب مانند دما، pH و اکسیژن محلول توسط دستگاه قابل حمل کیفیت‌سنج آب ساخت شرکت هک آمریکا مدل D40 به‌طور روزانه سنجش شدند (جدول ۱). میزان مرگ‌ومیر ماهیان در تیمارهای مختلف روزانه ثبت شد.

یکی از راه‌های سازگاری ماهیان با کمبود مواد غذایی در طبیعت استفاده از تناوب غذایی (گرسنگی- غذادهی مجدد) است (Love, 1970; Wu et al. 2021). به دنبال تغذیه مجدد، ماهیان انرژی خود را بازیابی می‌کنند و به دلیل بهبود جذب غذا و ضریب تبدیل غذایی، نرخ رشد افزایش می‌یابد و رشد جبرانی حاصل می‌شود که نشان‌دهنده رشد سریع به دنبال محرومیت غذایی است (Abolfathi et al. 2012; Akbary and Jahanbakhshi, 2016; Alix et al. 2017; Sakyi et al. 2020; Tamadoni et al. 2020; Wu et al. 2021). همچنین، مشاهده شده است که وضعیت تغذیه‌ای ماهیان (چه در حالت محرومیت غذایی و چه در حالت تغذیه شده) ممکن است پاسخ سوخت و سازی نسبت به سازگاری در شوری را مستقیماً تحت تأثیر قرار دهد (Kültz and Jürss, 1991; Polakof et al. 2006; Alix et al. 2017; Ali et al. 2018).

ماهیان یوری هالین برای سازگاری با افزایش شوری محیط اطراف خود، ابتدا طی دوره ای، یون‌های پلاسما و اسمولالیت را سریع افزایش می‌دهند و به دنبال آن، با افزایش فعالیت پمپ $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ در آبشش، افزایش تعداد و مساحت سلول‌های کلراید و افزایش ترشح یون‌ها، با محیط آبی جدید سازگار می‌شوند و به این ترتیب تعادل یونی ایجاد می‌شود (Evans et al. 2005). به این ترتیب، تغییرات اسمولالیت خون از مهم‌ترین شاخص‌های مورد استفاده برای شناسایی سازگاری شوری در ماهیان است و بسته به گونه ماهی در شوری‌های مختلف ممکن است بین ۲۸۰-۳۶۰ mOsm/kg متفاوت باشد (Evans et al. 2005; Varsamos et al. 2005). مطالعه حاضر، با هدف بررسی نرخ رشد سوخت و سازی و پاسخ‌های ایمنی مرتبط طی دوره‌های محرومیت غذایی کوتاه‌مدت و تغذیه مجدد بچه ماهی کلمه برای افزایش سازگاری در برابر کمبود غذا و میزان مقاومت طی ورود از آب شیرین به آب لب شور دریای خزر انجام شده است.

جدول ۱ فراسنجه‌های فیزیوشیمیایی آب‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر.

نوع آب مورد استفاده	شوری (ppt)	اکسیژن (mg/L)	دما (°C)	pH	مواد جامد محلول (g/L)	هدایت الکتریکی (ms/cm)
آب شیرین	۰/۱۶	۵/۹۰	۲۷/۵	۷/۸	۱۱/۱۸	۳/۱۵
آب لب شور دریای خزر	۱۲/۳۵	۵/۷۱	۲۸/۵	۸/۲	۱۱/۹۴	۲۰/۶۶

عملکرد رشد و تغذیه

شامل وزن و درازای نهایی، وزن به دست آمده، درصد افزایش وزن (WG)، نرخ رشد ویژه (SGR) و ضریب تبدیل غذایی (FCR) است که با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شدند:

برای بررسی عملکرد رشد و تغذیه ماهی‌ها در تیمارهای مختلف آزمایشی، وزن بچه ماهیان کلمه با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم و درازای آنها با دقت ۱ میلی‌متر در طی دوره آزمایش اندازه‌گیری شد. شاخص‌های مورد بررسی

WG (Weight gain percentage) = $(W_F - W_I) / W_I \times 100$ (Hung and lutes, 1987)

SGR (Specific growth rate) = $(\ln W_F - \ln W_I) / t \times 100$ (Zhou et al. 2006)

FCR (Feed conversion ratio) = $F / (W_F - W_I)$ (Zhou et al. 2006).

W_F = وزن نهایی؛ W_I = وزن اولیه؛ n = تعداد ماهی؛ F = کل غذای خورده شده

سنجش شاخص‌های استرس و پاسخ ایمنی ماهی

Anderson و Siwicki (۱۹۹۳) استفاده شد. به این منظور، ۰/۱ میلی‌لیتر از سرم نمونه با ۰/۱ میلی‌لیتر محلول پلی‌اتیلن گلیکول ۱۲٪ مخلوط و در دمای اتاق به مدت ۲ ساعت گرمخانه‌گذاری شد. نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با دور ۵۰۰۰ در دقیقه سانتریفیوژ شد. میزان ایمونوگلوبین کل سوسپانسیون از تفریق غلظت پروتئین در نمونه اولیه و غلظت پروتئین پس از افزودن پلی‌اتیلن گلیکول (PEG) محاسبه شد. برای اندازه‌گیری میزان فعالیت لیزوزیم از روش کدورت‌سنج ارائه‌شده توسط Ellis (۱۹۹۰) با مقداری اصلاح انجام شد. به این منظور، سرم نمونه (۲۵ میکرولیتر) در گوده‌های ۹۶ پلیت با ۱۷۵ میکرولیتر از سوسپانسیون ۰/۲ میلی‌گرم در میلی‌لیتر باکتری *Micrococcus lysodeikticus* در بافر فسفات سدیم ۰/۰۵ مولار با pH ۶/۲ مخلوط شد. جذب نوری در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های ۱ و ۵ دقیقه در طول موج ۵۳۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان فعالیت لیزوزیم با توجه به منحنی استاندارد میزان فعالیت لیزوزیم سفیده تخم‌مرغ تعیین شد.

در پایان دوره آزمایش (۴۶ روز دوره‌های گرسنگی و تغذیه مجدد و ۱۴ روز انتقال مستقیم به آب دریای خزر \ ۶۰ روز)، تعداد ۴ قطعه ماهی از هر تکرار (۱۲ قطعه ماهی از هر تیمار) به صورت تصادفی صید شد. به دلیل اندازه بسیار کوچک ماهیان و عدم امکان خون‌گیری از آنها، لاشه ماهیان پس از جداسازی سر و دم، داخل هاون چینی له، و تا زمان انجام آزمایش‌ها در فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. برای سنجش برخی از شاخص‌های استرس مانند فشار اسمزی (اسمولالیتیه)، سطح هورمون کورتیزول، گلوکز و همچنین برخی از فراسنجه‌های ایمنی شامل ایمونوگلوبین کل و فعالیت لیزوزیم، نمونه‌ها به آزمایشگاه ویروم رشت انتقال پیدا کرد. تعیین اسمولالیتیه با دستگاه Cryoscopic Osmometer (Gonotech, USA) و روش تعیین آن از طریق نقطه انجماد مایع انجام شد (Handy and Depledge, 1999). اندازه‌گیری هورمون کورتیزول با روش ELISA (Monobind, USA Lake Forest) انجام شد. اندازه‌گیری میزان گلوکز به شیوه کالریمتری و با استفاده از کیت تجاری (پارس آزمون، ایران) انجام شد (Bayunova et al. 2002). برای اندازه‌گیری ایمونوگلوبولین کل از روش

سنجش آماری

سنجش عملکرد رشد و تغذیه و همچنین درصد بقا (میانگین \pm انحراف معیار) بچه‌ماهیان کلمه طی دوره‌های متناوب محرومیت غذایی و غذادهی مجدد و بعد از انتقال به آب لب شور دریای خزر در جدول ۲ آورده شده است. بهترین عملکرد رشد و تغذیه در تمام فراسنجه‌های مربوطه در گروه F نسبت به دیگر گروه‌ها مشاهده شد. ماهیان گروه S کاهش وزن معنی‌داری نسبت به دیگر گروه‌ها نشان دادند (جدول ۲، $p < 0.05$). بیشترین میزان وزن به‌دست آمده و بهترین FCR در انتهای دوره آزمایش در ماهیان گروه F و 3S مشاهده شد. با افزایش مدت زمان محرومیت غذایی پیش از انتقال ماهیان به آب دریای خزر، میزان افزایش وزن روند کاهشی داشت و FCR افزایش یافت ($p < 0.05$). بالاترین SGR پس از ماهیان گروه F (0.16 ± 0.069 ٪) در ماهیان گروه‌های 3S و 5S دیده شد، در حالی که این شاخص در ماهیان گروه 7S از نظر آماری پایین‌تر از سه گروه مذکور بود (0.18 ± 0.125 ٪، $p < 0.05$). نتایج ثبت شده از درصد بقا نشان داد که بیشترین بازماندگی در گروه 5S به میزان ۱۰۰٪ و پایین‌ترین بازماندگی در ماهیان گروه S به میزان $4/96 \pm 94/27$ ٪ مشاهده شد.

این آزمایش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی در ۵ گروه آزمایشی و هر یک با ۳ تکرار انجام شد. داده‌ها از نظر نرمال بودن توسط آزمون شاپیرو-ویلک بررسی شد. برای مقایسه میانگین‌های به‌دست آمده در تیمارهای مختلف آزمایشی از آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-Way ANOVA) با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شد ($p < 0.05$). داده‌های به‌دست آمده (میانگین \pm انحراف معیار) توسط نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل و رسم نمودارها در نرم‌افزار Microsoft Office Excel انجام شد.

نتایج

طی دوره‌های کوتاه مدت محرومیت غذایی (۳، ۵ و ۷ روز) و تغذیه مجدد (۱۰ روز) پیش از انتقال بچه‌ماهیان کلمه از آب شیرین به آب لب شور دریای خزر و همچنین پس از انتقال آنها درصد بقای بالایی در تمام گروه‌های مورد مطالعه مشاهده شد (جدول ۲).

جدول ۲ شاخص‌های رشد و بازماندگی (میانگین \pm انحراف معیار) بچه‌ماهیان کلمه (*Rutilus caspicus*) طی دوره‌های متناوب محرومیت غذایی و غذادهی مجدد و بعد از انتقال به آب لب شور دریای خزر.

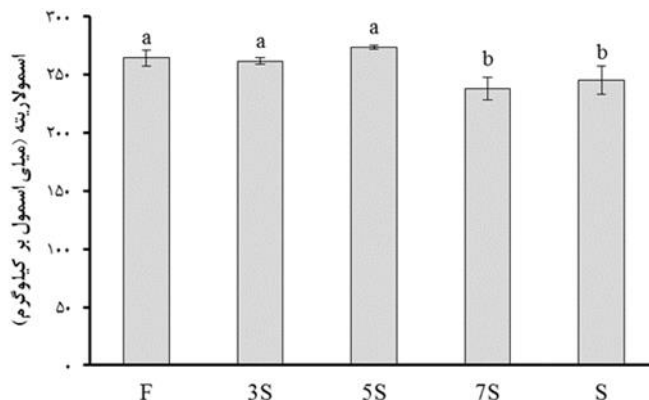
پارامتر	F	3S	5S	7S	S
وزن اولیه (گرم)	$1/12 \pm 0/03$	$1/16 \pm 0/04$	$1/14 \pm 0/03$	$1/10 \pm 0/06$	$1/13 \pm 0/03$
وزن نهایی (گرم)	$2/21 \pm 0/08^a$	$2/13 \pm 0/08^{ab}$	$2/03 \pm 0/15^b$	$1/82 \pm 0/07^c$	$1/07 \pm 0/06^d$
وزن بدست آمده (گرم)	$1/09 \pm 0/11^a$	$0/97 \pm 0/09^a$	$0/89 \pm 0/16^{ab}$	$0/72 \pm 0/10^b$	$-0/05 \pm 0/03^c$
درصد افزایش وزن (٪)	$97/56 \pm 13/15^a$	$83/79 \pm 10/25^{ab}$	$78/21 \pm 15/32^{ab}$	$65/45 \pm 12/18^b$	$-5/07 \pm 2/75^c$
نرخ رشد ویژه (٪/day)	$1/69 \pm 0/16^a$	$1/51 \pm 0/13^{ab}$	$1/43 \pm 0/21^{ab}$	$1/25 \pm 0/18^b$	$-0/13 \pm 0/07^c$
ضریب تبدیل غذایی	$2/92 \pm 0/27^b$	$3/25 \pm 0/27^b$	$3/52 \pm 0/56^{ab}$	$4/13 \pm 0/64^a$	-
درصد بقا	$98/19 \pm 3/67^b$	$98/49 \pm 4/14^b$	100^a	$96/4 \pm 5/21^c$	$94/3 \pm 4/96^d$

در طول ۴۶ روز دوره تغذیه‌ای گروه F: تغذیه مستمر ماهیان (گروه کنترل)، 3S: ماهیان قرارگرفته در دوره‌های محرومیت غذایی ۳ روزه و تغذیه مجدد ۱۰ روزه، 5S: ماهیان قرارگرفته در دوره‌های محرومیت غذایی ۵ روزه و تغذیه مجدد ۱۰ روزه، 7S: ماهیان قرارگرفته در دوره‌های محرومیت غذایی ۷ روزه و تغذیه مجدد ۱۰ روزه، S: گرسنگی مستمر ماهیان اعمال شد.

تیمارهای 3S و 5S نسبت به گروه F تفاوت چندانی نداشت ($p > 0.05$). سطح اسمولالیتته در هر سه گروه (F،

میزان اسمولالیتته در بچه‌ماهیان کلمه دریای خزر پس از دو هفته انتقال مستقیم به آب لب‌شور دریای خزر، تنها در

اسمولالیته در ماهیان گروه F به میزان $7 \pm \text{mosmol/kg}$ و پایین‌ترین سطح آن در ماهیان گروه 7S به میزان $9/83 \pm 237/91$ به دست آمد.

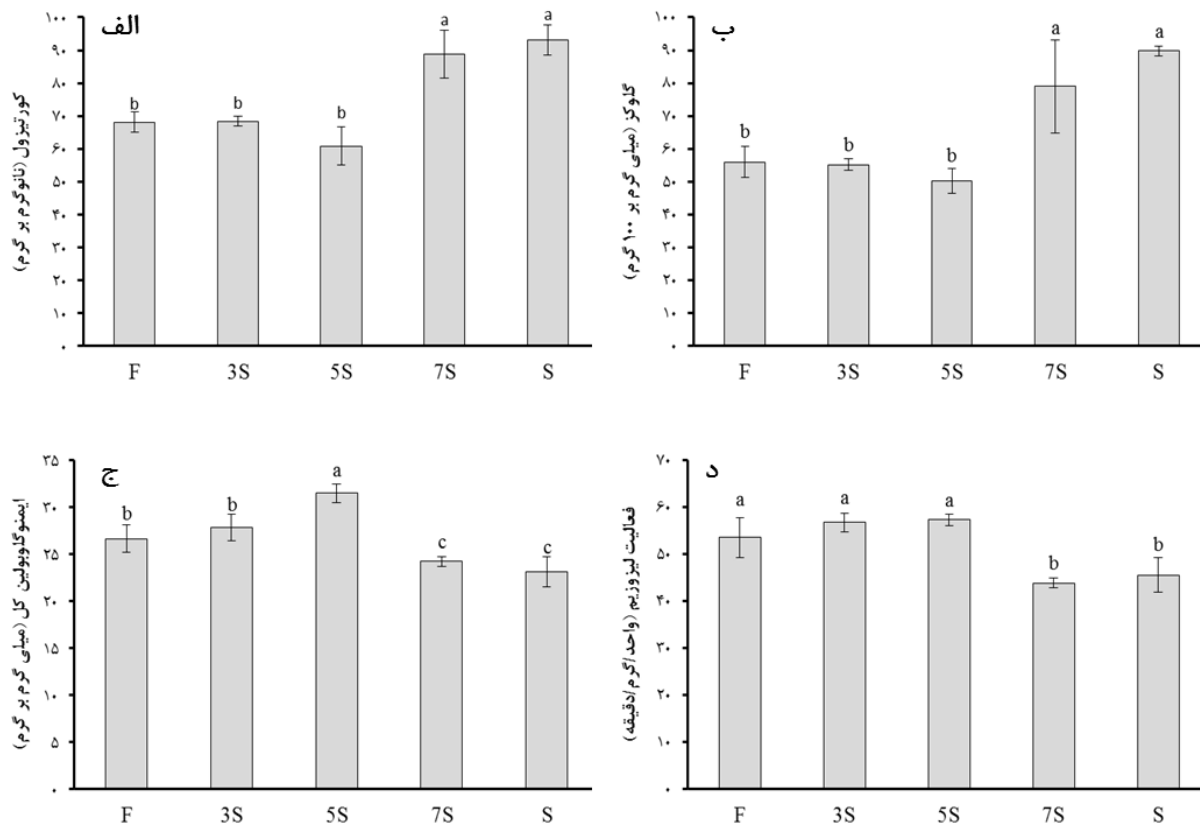


3S و 5S) در سطحی مشابه فشار اسمزی دریای خزر (حدود 280 mosmol/kg) مشاهده شد، اما این فراسنجه در ماهیان تیمارهای 7S و S نسبت به دیگر گروه‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۱، $p < 0/05$). بالاترین میزان

شکل ۱ سنجش اسمولالیته بافت بدن بچه ماهیان کلمه (*Rutilus caspicus*) طی دوره‌های متناوب محرومیت غذایی و غذا دهی مجدد پس از دو هفته انتقال مستقیم به آب لب شور دریای خزر. F: ماهیان غذادهی شده در تمام مدت آزمایش (گروه کنترل)؛ 3S: ماهیان قرارگرفته در دوره‌های محرومیت غذایی ۳ روزه و تغذیه مجدد ۱۰ روزه؛ 5S: ماهیان قرارگرفته در دوره‌های محرومیت غذایی ۵ روزه و تغذیه مجدد ۱۰ روزه؛ ماهیان قرارگرفته در دوره‌های محرومیت غذایی ۳ روزه و تغذیه مجدد ۱۰ روزه؛ 7S: ماهیان قرار گرفته در دوره‌های محرومیت غذایی ۷ روزه و تغذیه مجدد ۱۰ روزه.

برای بررسی میزان مقاومت ایمنی ماهیان طی دوره‌های مختلف محرومیت غذایی و تغذیه مجدد در مواجهه مستقیم با شوری دریای خزر میزان ایمونوگلوبولین کل، تنها در ماهیان تیمار 5S ($0/99 \pm 31/5 \text{ mg/g}$) به‌طور معنی‌دار افزایش یافت، در حالی که ماهیان تیمارهای 7S و S، کاهش معنی‌داری در سطح ایمونوگلوبولین خود نسبت به گروه F نشان دادند (شکل ۲، ج، $p < 0/05$). موافق با نتایج به دست آمده از سنجش ایمونوگلوبولین، فعالیت آنزیم لیزوزیم به عنوان دیگر فراسنجه در پاسخ ایمنی، در این ماهیان کاهش قابل ملاحظه‌ای نسبت به گروه F پیدا کرد ($p < 0/05$). میزان لیزوزیم در ماهیان تیمارهای 3S و 5S در سطح مشابهی با ماهیان گروه F بود (شکل ۲، د).

میزان کورتیزول و گلوکز به‌عنوان شاخص‌های استرس در بدن بچه ماهیان کلمه دریای خزر در انتهای دوره آزمایش، در گروه‌های ماهیان 3S و 5S در مقایسه با گروه کنترل (F) اختلاف آماری داشت، اما مقدار آنها در ماهیان تیمارهای 7S و S، نسبت به گروه F به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (شکل ۲، الف و ب، $p < 0/05$). بالاترین و پایین‌ترین سطح کورتیزول در تیمارهای S و 5S به‌ترتیب به‌میزان $4/58 \pm 93 \text{ ng/g}$ و $5/74 \pm 60/84 \text{ ng/g}$ بود. به‌طور مشابه، بالاترین و پایین‌ترین میزان گلوکز در ماهیان گروه S و 5S به‌ترتیب به میزان $1/59 \pm 89/75 \text{ mg/100g}$ و $3/81 \pm 50/19 \text{ mg/100g}$ مشاهده شد.



شکل ۲ سنجش پاسخ‌های ایمنی بچه‌ماهیان کلمه (*Rutilus caspicus*) طی دوره‌های متناوب محرومیت غذایی و غذا دهی مجدد پس از دو هفته انتقال مستقیم به آب لب شور دریای خزر. الف) میزان کورتیزول؛ ب) میزان گلوکز؛ ج) میزان ایمونوگلوبولین کل؛ د) فعالیت لیزوزیم؛ F: ماهیان غذادهی شده در تمام مدت آزمایش (گروه کنترل)؛ 3S: ماهیان قرارگرفته در دوره‌های محرومیت غذایی ۳ روزه و تغذیه مجدد ۱۰ روزه؛ 5S: ماهیان قرارگرفته در دوره‌های محرومیت غذایی ۵ روزه و تغذیه مجدد ۱۰ روزه؛ 7S: ماهیان قرارگرفته در دوره‌های محرومیت غذایی ۷ روزه و تغذیه مجدد ۱۰ روزه.

دریای خزر طی سه هفته تلفات چندانی مشاهده نشد (امین و همکاران، ۱۴۰۰). همچنین، هیچ تلفاتی در ماهیان کلمه دریای خزر (میانگین وزن ۱/۶۸ گرم) طی دوره‌های مختلف گرسنگی به ترتیب یک، دو و سه هفته و به دنبال آن تغذیه مجدد به ترتیب هفت، شش و پنج هفته مشاهده نشد (Abolfathi et al. 2012). تجزیه و تحلیل نتایج فوق مؤید آن است که دوره‌های کوتاه‌مدت تناوب غذایی در بچه‌ماهیان کلمه در اندازه رهاسازی آنها چه در آب شیرین و چه در دریای خزر بر میزان قابلیت بازماندگی آنها تأثیری ندارد. درصد بقای بالا در این ماهیان طی افزایش ناگهانی شوری ممکن است نشان از وجود ظرفیت سازگاری

بحث

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که دوره‌های کوتاه‌مدت محرومیت غذایی (۳، ۵ و ۷ روز) و تغذیه مجدد (۱۰ روز) پیش از انتقال بچه‌ماهیان کلمه در وزن رهاسازی از آب شیرین به آب لب شور دریای خزر، سبب هیچ گونه تلفاتی نشد. پس از انتقال بچه‌ماهیان به آب دریای خزر نیز درصد بقای بالایی در تمام گروه‌های مورد مطالعه مشاهده شد. ماهیانی که از ابتدا تا انتهای دوره آزمایش گرسنه نگه داشته شدند (گروه S) نیز تلفات جزئی طی دو هفته پرورش در آب لب شور دریای خزر نشان دادند. در این راستا، با انتقال مستقیم و تدریجی این بچه‌ماهیان از آب شیرین به آب

سوخت‌وسازی آنها در پاسخ به شرایط محیطی جدید باشد و قابلیت تنظیم اسمزی قوی آنها را تأیید کند.

همسو با نتایج مطالعه حاضر، طاهری و علی‌اصغری (۱۳۹۱) در تحقیقی با اعمال دوره‌های گرسنگی و سیری صفر (شاهد)، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت بر ماهی کلمه خزری نشان دادند که بیشترین درصد افزایش وزن، نرخ رشد روزانه و نرخ رشد ویژه در گروه شاهد در مقایسه با دیگر تیمارها به دست آمد. بنابراین، با افزایش دوره گرسنگی، توان رشد جبرانی در بچه‌ماهی کلمه کاهش می‌یابد. همچنین در این راستا، آدینه و همکاران (۱۳۹۶) با مطالعه تأثیر سطوح مختلف محدودیت غذایی بر عملکرد رشد، کارایی تغذیه و ترکیبات شیمیایی بدن نوزاد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) پرورش یافته در دو محیط آبی دریافتند که محرومیت غذایی در مرحله نوزادی این ماهی اثرات منفی بر عملکرد رشد و ترکیبات بدن دارد. در بررسی تأثیر شوری‌های مختلف بر شاخص‌های رشد ماهیان، بهبود عملکرد رشد در ماهی شانک باله زرد (*Acanthopagrus latus*) با افزایش شوری محیط تا حد ایزواسموتیک (از ۶ به ۱۲ ppt) حاصل شد، اما با ادامه افزایش شوری، میزان مصرف غذا در این ماهیان روند کاهشی داشت و با کاهش رشد مواجه شدند (Torfi Mozanzadeh et al. 2021). بر اساس مطالعه جمیلی و همکاران (۱۳۷۲)، ماهیان شوری‌دوست در محیط ایزواسموتیک به بیشینه رشد خود می‌رسند. در مطالعه‌ای دیگر، بیشینه افزایش وزن و بیشینه SGR و کمینه میزان FCR در بچه‌ماهیان سفید با میانگین وزنی ۱ گرم طی انتقال از آب شیرین به آب‌هایی با شوری ۱۰-۸ ppt مشاهده شد (امیری و همکاران، ۱۳۹۷). در مطالعات انجام شده در زمینه تأثیر دوره‌های متناوب محرومیت غذایی و غذایی بر قابلیت رشد ماهیان، مشاهده شده است که اعمال دوره‌های گرسنگی به مدت ۴ و ۸ روز و به دنبال آن، تغذیه مجدد به مدت ۸ و ۳۲ روز طی دوره آزمایش ۸۰ روزه، موجب رشد جبرانی و افزایش فعالیت آنزیم‌های گوارشی در بچه ماهیان شانک باله زرد (وزن حدود ۲ گرم) شد (Tamadoni et al. 2020). همچنین، رشد جبرانی در تاسماهی *Acipenser dabryanus* طی دوره‌های

مختلف محرومیت غذایی ۳، ۷ و ۱۴ روزه و غذایی مجدد ۱۴ روزه حاصل شد (Wu et al. 2021). همچنین، در بچه‌ماهیان کلمه‌ای (با میانگین وزن ۱/۶۸ گرم) که طی یک تا دو هفته گرسنه ماندند، تفاوت معنی‌داری در نرخ رشد ویژه آنها نسبت به گروه شاهد مشاهده نشد، اما پس از گذشت سه هفته متوالی محرومیت از غذا، به‌طور معنی‌دار با کاهش رشد مواجه شدند. این ماهیان، پس از یک دوره پنج هفته‌ای غذایی مجدد به دنبال سه هفته محرومیت غذایی، توانستند میزان SGR را در پایان دوره آزمایش به سطحی بالاتر از ماهیانی که در تمام طول آزمایش تغذیه می‌شدند، برسانند و رشد جبرانی داشته باشند (Abolfathi et al. 2012). به دلیل نقش بسیار مهم اسیدهای آمینه در تنظیم اسمزی، عدم تغذیه باعث کاهش میزان اسید آمینه می‌شود و موجب اختلال در ساخت پروتئین‌های دخیل در تنظیم اسمزی طی افزایش شوری می‌شود (محسنی و همکاران، ۱۳۹۵). از بین گروه‌های مختلف بچه‌ماهیان کلمه مورد مطالعه در این تحقیق، گروه F نسبت به دیگر گروه‌ها بهترین عملکرد رشد را در انتهای دوره آزمایش (۶۰ روز) نشان دادند. به‌رغم عدم تغذیه ماهیان طی مدت زمان دو هفته در محیط ایزواسموتیک دریای خزر، ماهیان گروه‌های 3S، 5S و 7S از نظر شاخص SGR، درصد افزایش وزن و بهبود FCR، به ترتیب در اولویت‌های بعد از ماهیان گروه F قرار گرفتند، اما در ماهیان گروه S، شاخص‌های رشد منفی مشاهده شد. در نتیجه، می‌توان اظهار داشت که با افزایش مدت زمان گرسنگی، ظرفیت سوخت‌وسازی بدن کاهش می‌یابد و برای حفظ همئوستازی فیزیولوژیک ماهی، با مصرف منابع انرژی درونی بدن ماهی (لیپید، گلیکوژن و پروتئین)، آب جایگزین آنها شده و به‌تبع آن، کاهش رشد و فعالیت‌های جنبشی ماهی را به‌همراه خواهد داشت (Foster and Moon, 1991; Navarro et al. 1993; Abolfathi et al. 2012; Korgdahl and Bakke-McKellep, 2015; Zheng et al. 2015; Sakyi et al. 2020).

در این مطالعه، میزان اسمولالیتیه در بچه‌ماهیان کلمه دریای خزر در گروه‌های 3S و 5S نسبت به گروه F طی دو هفته پس از انتقال مستقیم به آب لب‌شور دریای خزر تفاوتی

خون در بهبود مقاومت ماهیان نسبت به افزایش شوری محیط اطراف خود نقش بسیار مهمی دارند (Shirangi et al. 2019). از طرف دیگر، کورتیزول پلازما نقش مهمی در انسجام ذخایر انرژی ماهیان در هنگام محرومیت از غذا دارد (Ashouri et al. 2014; Barcellos et al. 2010). سطح کورتیزول در ماهیان شانک دریایی (*S. auratus*) چه در محیط‌های هیپواسموتیک و چه هایپراسموتیک با افزایش دوره گرسنگی افزایش یافت (Polakof et al. 2006). در تاسماهی سبیری (*Acipenser baerii*) نیز طی دوره ۲-۴ روز گرسنگی تغییری در سطح کورتیزول آنها مشاهده نشد، اما پس از ۸ روز محرومیت غذایی به میزان قابل توجهی کاهش یافت (Ashouri et al. 2014). در مطالعه‌ای دیگر، با وجود افزایش اولیه کورتیزول طی مدت محرومیت غذایی یک تا سه هفته‌ای گربه ماهی امریکای جنوبی (*Rhamdia queelen*)، مقدار آن پس از ۴ روز تغذیه مجدد به سطح اولیه خود بازگشت (Barcellos et al. 2010). از طرف دیگر، در مطالعه‌ای که توسط امین و همکاران (۱۴۰۰) انجام شد، میزان کورتیزول بچه‌ماهیان کلمه، طی سه هفته پس از انتقال مستقیم آنها از آب شیرین به آب لب‌شور دریای خزر در سطحی تقریباً مشابه ماهیان در آب شیرین مشاهده شد. در تحقیق حاضر، بالاترین میزان کورتیزول در بچه‌ماهیان گروه S و 7S مشاهده شد، در حالی که در ماهیانی که پیش از انتقال به آب دریای خزر در دوره‌های متناوب کوتاه‌مدت گرسنگی و تغذیه مجدد قرار گرفتند (3S و 5S) نسبت به گروه ماهیانی که تمام مدت زمان آزمایش تغذیه شدند، تفاوتی مشاهده نشد. بنابراین، می‌توان اظهار داشت که سطح کورتیزول در بچه‌ماهیان کلمه دریای خزر در اندازه رهاسازی تحت تأثیر افزایش ناگهانی شوری قرار نمی‌گیرد، اما افزایش مدت زمان محرومیت غذایی پیش از انتقال شوری می‌تواند سبب افزایش قابل توجه آن در گروه‌های مختلف ماهیان شود.

سطح گلوکز بین گروه‌هایی که پیش از انتقال به آب دریای خزر کمتر گرسنه ماندند (3S، F، و 5S) و ماهیانی که در تمام طی آزمایش از تغذیه محروم ماندند (S) و یا کمتر تغذیه شدند (7S) متفاوت بود. همچنین، مشابه نتایج

نشان نداد و سطح اسمولالیت در هر سه گروه ماهیان در سطحی مشابه فشار اسمزی دریای خزر (حدود 280 mosmol/kg) مشاهده شد که نشان‌دهنده ایجاد تعادل اسمزی بدن بچه‌ماهیان نسبت به محیط اطراف خود است. در تحقیقی مشاهده شده است که در صورتی که بچه ماهیان کلمه دریای خزر در تمام دوره آزمایش تغذیه شوند، طی انتقال ناگهانی و تدریجی از آب شیرین به آب لب‌شور دریای خزر، می‌توانند سطح اسمولالیت بدن خود را پس از سه هفته به سطحی مشابه ماهیان آب شیرین کاهش دهند (امین و همکاران، ۱۴۰۰). در مطالعه حاضر، پایین‌ترین سطح اسمولالیت در بچه‌ماهیان تیمارهای 7S و S مشاهده شد. به‌طور مشابه، میزان اسمولالیت در ماهی شانک دریایی (*Sparus auratus*) با قرار گرفتن در آبی با شوری اندک (حدود 6 ppt) طی یک دوره گرسنگی دو هفته‌ای، نسبت به ماهیان پرورش‌یافته در شوری‌های بالاتر کاهش یافت (Polakof et al. 2006). همچنین، میزان اسمولالیت در بچه‌ماهیان آزاد دریای خزر (*Salmo trutta caspius*) که شش هفته متوالی گرسنه ماندند و ماهیانی که سه هفته ابتدایی تغذیه شدند و سه هفته گرسنه ماندند، پنج روز پس از انتقال مستقیم به آب دریای خزر، میزان اسمولالیت نسبت به دیگر گروه‌ها به‌طور معنی‌دار کاهش یافت (امیری مقدم و همکاران، ۱۳۹۱). در مطالعه‌ای که تأثیر توأم افزایش آمونیاک و شرایط تغذیه‌ای بر پاسخ یونی ماهی باس دریایی اروپایی (*Dicentrarchus labrax*) طی سازگاری با کاهش تدریجی شوری بررسی شد، میزان اسمولالیت در بین ماهیانی که در طی آزمایش تغذیه شدند، همواره ثابت و بدون تغییر بود، در حالی که در ماهیانی که گرسنه نگه داشته شدند، کاهش یافت (Sinha et al. 2015). بنابراین، می‌توان اظهار داشت که کاهش اسمولالیت ماهیان طی محرومیت غذایی طولانی مدت پس از افزایش شوری ممکن است با دفع بیش از حد یون‌ها همراه باشد و بر روی ظرفیت یونی ماهیان اثر منفی ایجاد کند.

هورمون کورتیزول به تنهایی و یا احتمالاً همراه با هورمون‌های رشد (GH) و IGF1، از طریق تحریک ترشح یون‌های اضافی و کاهش سطح یون‌ها و اسمولالیت پلاسمای

که در تمام مدت آزمایش تغذیه شدند، افزایش یافت (Eslamloo et al. 2017; Sakyi et al. 2020) که ممکن است به خاطر پاسخ اولیه ماهی نسبت به گرسنگی باشد (Akbari and Jahanbakhshi, 2016). در این مطالعه، سطح ایمونوگلوبولین در ماهیان گروه 5S نسبت به گروه F به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت و بیشترین میزان آن در این گروه دیده شد، اما ماهیان گروه S و 7S پایین‌ترین سطح ایمونوگلوبولین را در بین تیمارهای مورد مطالعه نشان دادند. در تحقیقی، پس از کاهش اولیه میزان ایمونوگلوبولین در بچه‌ماهیان کلمه طی انتقال به آب دریای خزر، در انتهای آزمایش مجدداً افزایش یافت و به سطح ماهیانی که در تمام طی آزمایش در آب شیرین پرورش داده شده بودند، نزدیک شد (امین و همکاران، ۱۴۰۰). در نتیجه، آب لب‌شور دریای خزر چندان دستگاه ایمنی را تحریک نمی‌کند و ایمونوگلوبولین را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد، اما با افزایش دوره محرومیت غذایی و کاهش منابع انرژی در این گروه از ماهیان، دچار افت می‌شود.

لیزوزیم نوعی آنزیم ضد میکروبی است که در پاسخ‌های ایمنی اولیه نقش دارد (Harikrishnan et al. 2010). میزان لیزوزیم در ماهیان گروه 3S و 5S پس از گذشت دو هفته انتقال به آب لب‌شور دریای خزر، نسبت به گروه شاهد افزایش جزئی نشان داد و با وجود مشاهده تأثیر افزایش ناگهانی شوری بر کاهش فعالیت لیزوزیم در بچه‌ماهیان کلمه (امین و همکاران، ۱۴۰۰)، انتقال شوری بر میزان فعالیت لیزوزیم در گروه ماهیانی که پیش از انتقال شوری تحت دوره‌های ۳ و ۵ روز محرومیت غذایی و به دنبال آن ۱۰ روز تغذیه مجدد قرار گرفته بودند، نسبت به ماهیانی که تمام مدت پیش از افزایش ناگهانی شوری تغذیه شدند، تأثیری نداشت، اما میزان لیزوزیم همانند ایمونوگلوبولین با افزایش دوره گرسنگی پیش از انتقال به شوری (در تیمارهای S و 7S) کاهش یافت. به‌طور مشابه، سطح لیزوزیم در ماهی *Barbonymus schwanefeldii* پس از قرار گرفتن در یک دوره گرسنگی دو هفته‌ای کاهش یافت (Eslamloo et al. 2017). بر عکس، سطح این آنزیم در تاسماهی چینی (*A. sinensis*)، کفال خاکستری (*O. niloticus*) و تیلایپای نیل

حاصل از میزان کورتیزول، سطح گلوکز نیز با افزایش مدت گرسنگی افزایش یافت. بر خلاف نتایج فوق، مطالعات متعددی نشان داده‌اند که محرومیت غذایی باعث کاهش سطح گلوکز خون در گونه‌های مختلف ماهیان می‌شود (Boujard et al. 2000; Caruso et al. 2012; Ashouri et al. 2014; Eslamloo et al. 2017; Dar et al. 2019; Saki et al. 2020). کاهش قند خون طی گرسنگی، ممکن است به واسطه مصرف گلوکز به عنوان منبع سوخت طی محرومیت غذایی باشد (Li et al. 2018). در طی دوره‌های گرسنگی در ماهیان، چربی‌های کبد و عضله در وهله اول به مصرف می‌رسند و با ادامه یافتن محرومیت غذایی، گلیکوژن موجود در کبد و ماهیچه به گلوکز تجزیه و استفاده می‌شود (Abolfathi et al. 2012). همچنین، میزان گلوکز در ماهی تیلایپای نیل (*Oreochromis niloticus*)، پس از ۱۴ روز گرسنگی کاهش یافت، اما طی تغذیه مجدد با شیب تندی افزایش یافت و سطح آن تا انتهای دوره آزمایش (۲۱ روز) بالا باقی ماند (Sakyi et al. 2020). از طرف دیگر، مشاهده شده است که سطح گلوکز در بچه‌ماهیان کلمه تحت تأثیر افزایش ناگهانی شوری قرار نمی‌گیرد (امین و همکاران، ۱۴۰۰). بنابراین، افزایش قابل ملاحظه گلوکز در ماهیان گروه S و 7S را می‌توان به افزایش مدت زمان محرومیت غذایی نسبت داد و احتمالاً این ماهیان پس از مصرف ذخایر چربی خود، به تجزیه گلیکوژن و تولید گلوکز به منظور تأمین انرژی مورد نیاز خود می‌پردازند. سطح گلوکز در مطالعات مختلف بسته به گونه ماهی مورد مطالعه، وضعیت تغذیه‌ای و مدت زمان قرار گرفتن در معرض گرسنگی و ذخایر چربی ماهی مورد نظر متفاوت است (Eslamloo et al. 2017).

پاسخ‌های ایمنی مورد بررسی در این مطالعه شامل ایمونوگلوبولین و لیزوزیم بود. در مطالعه‌ای، دستگاه ایمنی در ماهی شانک باله زرد در پاسخ به افزایش شوری محیط تحریک شد و سطح ایمونوگلوبولین و لیزوزیم در آن افزایش یافت (Torfi Mozanzadeh et al. 2021). از طرف دیگر، سطح ایمونوگلوبولین در بعضی از گونه‌های ماهیان با افزایش دوره گرسنگی به مدت دو هفته، نسبت به ماهیانی

طی دوره محرومیت غذایی افزایش یافت (Feng et al. 2011; Akbary and Jahanbakhshi, 2016; Sakyi et al. 2020). بنابراین، اثر گرسنگی و شوری بر لیزوزیم به گونه ماهی و مدت زمان دوره محرومیت غذایی بستگی دارد.

نتیجه گیری

بر طبق دستاوردهای حاصل از این مطالعه مبنی بر امکان‌سنجی مقاومت بچه ماهیان کلمه دریای خزر طی دوره‌های متناوب محرومیت غذایی و تغذیه مجدد در هنگام انتقال مستقیم به آب لب شور دریای خزر، بالاترین درصد افزایش بدن و بالاترین نرخ SGR در گروهی که به‌طور تناوبی در دوره‌های کوتاه مدت ۳ تا ۵ روزه محرومیت غذایی و تغذیه مجدد قرار گرفتند، پس از گروهی که در تمام مدت آزمایش (۶۰ روز) غذادهی شدند، مشاهده شد. کوتاه بودن مدت گرسنگی این ماهیان و فراهم بودن امکان تغذیه مجدد آنها، ثبات اسمولالیت پلاسمای آنها نسبت به گروه شاهد، عدم تغییر قابل ملاحظه در سطح کورتیزول و گلوکز آنها و همچنین، عدم تحریک دستگاه ایمنی آنها طی انتقال مستقیم به آب دریای خزر نشان می‌دهد که دو گروه 3S و 5S، به انرژی زیادی برای ایجاد تعادل اسمزی نیاز ندارند، زیرا دریای خزر نیز محیطی ایزواسموتیک است و نسبت به آب شیرین، یون‌های بیشتری در اختیار ماهیان قرار می‌دهد. بنابراین، آنها تنظیم اسمزی را به کمترین مقدار می‌رسانند و تمام انرژی خود را صرف رشد خواهند کرد. در نتیجه، توصیه می‌شود که در صورتی که بچه‌ماهیان کلمه در مراکز تکثیر و پرورش به‌طور تناوبی در دوره‌های کوتاه مدت ۳ تا ۵ روزه محرومیت غذایی و تغذیه مجدد قرار گیرند، می‌توان آنها را به‌طور مستقیم به آب لب‌شور دریای خزر انتقال داد. در این صورت، نه تنها هیچ اختلالی در عملکرد دستگاه ایمنی و تنظیم اسمزی آنها وارد نمی‌شود و دچار استرس فیزیولوژیک ناشی از گرسنگی و افزایش شوری نمی‌شوند، بلکه در صورتی که تا مدت دو هفته قادر به فراهم کردن غذای مورد نیاز خود در محیط جدید نباشند، با درصد بقای بالا زنده خواهند ماند و حتی عملکرد رشد آنها نیز به‌واسطه زندگی در محیط ایزواسموتیک دریای خزر بهبود می‌یابد.

تشکر و قدردانی

به این وسیله از دانشگاه گنبد کاووس به خاطر حمایت مالی برای انجام این پژوهش قدردانی می‌شود. از اداره کل شیلات استان گلستان نیز به دلیل صدور مجوز استفاده از این گونه سپاس‌گزاری می‌شود. همچنین نویسندگان از جناب آقای دکتر یحیایی، معاونت محترم صید و بازسازی ذخایر آبزیان شیلات گلستان و جناب آقای مهندس شکیبی، ریاست محترم مرکز تکثیر و پرورش ماهیان استخوانی سیجوال، بندرت‌رکمن که بدون حمایت ایشان انجام این پژوهش میسر نبود، کمال تشکر را دارند.

منابع

- آدینه، ح.، جعفریان، حجت‌الله، سلطانی، م.، فرهنگی، م.، جعفریان، س. ۱۳۹۶. تأثیر سطوح مختلف محدودیت غذایی بر عملکرد رشد، کارایی تغذیه و ترکیبات شیمیایی بدن لارو ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) پرورش یافته در دو محیط آبی. تغذیه آبزیان ۳: ۱۱-۱.
- امیری مقدم، ج.، منیعی، ف.، خدابنده، ص.، ایمان‌پور، ج. ۱۳۹۱. اثرات دوره‌های گرسنگی و تغذیه مجدد بر تنظیم یونی-اسمزی ماهیان آزاد دو تابستانه دریای خزر. شیلات، منابع طبیعی ایران ۶۵: ۱۱۸-۱۰۹.
- امیری، س.ا.، صیاد بورانی، م.، مرادی، م.، پورغلامی، ا. ۱۳۸۷. اثر شوری‌های مختلف بر روی رشد و ماندگاری بچه ماهی سفید انگشت قد (*Rutilus frisii kutum*). مجله علمی شیلات ایران ۱۷: ۳۰-۲۳.
- امین، ن.، شیرنگی، س.ا.، کشیری، ح.، جعفریان، ح.ا.، آدینه، ح. ۱۴۰۰. اثرات روش‌های انتقال ناگهانی و تدریجی به شوری آب دریای خزر بر تنظیم یونی، برخی از پاسخ‌های ایمنی و شاخص‌های استرس در بچه ماهی کلمه دریای خزر (*Rutilus caspicus*). علوم و فنون شیلات (پذیرفته شده).
- جمیلی، ش.، عریان، ش.، سیف‌آبادی، ج. ۱۳۷۲. نقش شوری در میزان رشد و قدرت تحمل ماهی بنی. مجله علمی شیلات ایران ۲: ۵۵-۴۵.

- ماهی کلمه دریای خزر (*Rutilus rutilus caspicus*). علوم و فنون دریایی ۱۸: ۳۳-۴۲.
- محسنی، م.، بنایی، م.، نعمت دوست‌حقی، ب.، فارابی، س.م.و. ۱۳۹۵. اثر محرومیت غذایی بر توسعه سلول‌های کلراید آبششی در بچه ماهی سفید دریای خزر (*Rutilus frisii kutum*) در مواجهه با تنش شوری. بوم‌شناسی آبزیان ۴: ۸۸-۹۷.
- Abolfathi, M., Hajimoradloo, A., Ghorbani, R., Zamani, A. 2012. Effect of starvation and refeeding on digestive enzyme activities in juvenile roach, *Rutilus rutilus caspicus*. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology 161: 166-173.
- Akbary, P., Jahanbakhshi, A. 2016. Effect of starvation on growth, biochemical, hematological and non-specific immune parameters in two different size groups of grey mullet, *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758). Acta Ecologica Sinica 36: 205-211.
- Ali, M., Soltanian, S., Akbary, P., Gholamhosseini, A. 2018. Growth performance and lysozyme activity of rainbow trout fingerlings fed with vitamin E and selenium, marjoram (*Origanum spp.*), and ajwain (*Trachyspermum ammi*) extracts. Journal of Applied Animal Research 46: 650-660.
- Alix, M., Blondeau-Bidet, E., Grousset, E., Shiranghi, A., Vergnet, A., Guinand, B., Chatain, B., Boulo, V., Lignot, J.H. 2017. Effects of fasting and re-alimentation on gill and intestinal morphology and indicators of osmoregulatory capacity in genetically selected sea bass (*Dicentrarchus labrax*) populations with contrasting tolerance to fasting. Aquaculture 468: 314-325.
- Ashouri, G., Yavari, V., Bahmani, M., Yazdani, M. A., Kazemi, R., Morshedi, V., Eslamloo, K., 2014. Cortisol and its metabolites in juvenile Siberian sturgeon, *Acipenser baerii* Brandt, 1869 in response to short-term food deprivation. Caspian Journal of Environmental Sciences 12: 41-52.
- Barcellos, L.J.G., Marquze, A., Trapp, M., Quevedo, R.Z.M., Ferreira, D. 2010. The effects of fasting on cortisol, blood glucose and liver and muscle glycogen in adult طاهری، ح.، علی‌اصغری، م. ۱۳۹۱. تأثیر گرسنگی و رشد جبرانی روی رشد و ترکیب لاشه بچه ماهی کلمه خزری (*Rutilus rutilus caspicus*). بهره برداری و پرورش آبزیان ۱: ۹۲-۸۱.
- قربانی، ص.، طالبی حقیقی، د.، مقصودیه کهن، ح.، صلواتیان، س.م.، پروانه مقدم، د. ۱۳۹۸. اثرات سطوح مختلف چربی جیره روی رشد و ترکیبات لاشه بچه Jundiai *Rhamdia quelen*. Aquaculture 300: 231-236.
- Bayunova, L., Barannikova, I., Semenkova, T. 2002. Sturgeon stress reactions in aquaculture. Journal of Applied Ichthyology 18: 397-404.
- Boujard, T., Bourel, C., Medale, F., Haylor, G., Moisan, A. 2000. Effects of past nutritional history and fasting on feed intake and growth in rainbow trout *Onchorhynchus mykiss*. Aquatic Living Resources 13: 129-137.
- Caruso, G., Denaro, M. G., Caruso, R., Genovese, L., Mancari, F., Maricchiolo, G. 2012. Short fasting and re-feeding in red porgy (*Pagrus pagrus*, Linnaeus 1758): Response of some hematological, biochemical and non-specific immune parameters. Marine Environmental Research 81: 18-25.
- Cataldi, E., Di Marco, P., Mandich, A., Cataudella, S. 1998. Serum parameters of Adriatic sturgeon *Acipenser naccarii* (Pisces: Acipenseriformes): effects of temperature and stress. Comparative Biochemistry and Physiology 121A: 351-354.
- Coad, B.W. 1980. Environmental change and its impact on the freshwater fishes of Iran. Biological Conservation 19: 51-80.
- Dar, A.S., Prakash, P., Varghese, T., Ishfaq, M., Gupta, S., Krishna, G. 2019. Temporal changes in superoxide dismutase, catalase, and heat shock protein 70 gene expression, cortisol and antioxidant enzymes activity of *Labeo rohita* fingerlings subjected to starvation and refeeding. Gene 692: 94-101.
- Ellis, A.E. 1990. Lysozyme assay. In: Stolen, J.S.; Fletcher, D.P.; Anderson, B.S.; Robertson, B.S. (Eds.), Techniques in Fish Immunology. SOS Publication, Fair Haven, NJ, 101-103.

- Eslamloo, K., Morshedi, V., Azodi, M., Akhavan, S. 2017. Effect of starvation on some immunological and biochemical parameters in tinfoil barb (*Barbonymus schwanenfeldii*). Journal of Applied Animal Research 45: 173-178.
- Evans, D.H., Piermarini, P.M., Choe, K.P. 2005. The multifunctional fish gill: dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste. Physiological Review 85: 97-177.
- Evans, D.H., Piermarini, P.M., Potts, W.T.W. 1999. Ionic transport in the fish gill epithelium. Journal of Experimental Zoology 283: 641-652.
- Feng, G., Shi, X., Huang, X., Zhuang, P. 2011. Oxidative stress and antioxidant defenses after long-term fasting in blood of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*). Procedia Environmental Science 8: 469-475.
- Foster, G.D., Moon, T.W. 1991. Hypometabolism with fasting in the yellow perch (*Perca flavescens*): a study of enzymes, hepatocyte metabolism, and tissue size. Physiological Zoology 64: 259-275.
- German, D.P., Neuberger, D.T., Callahan, M.N., Lizardo, N.R., Evans, D.H. 2010. Feast to famine: the effects of food quality and quantity on the gut structure and function of a detritivorous catfish (Teleostei: Loricariidae). Comparative Biochemistry and Physiology 155A: 281-293.
- Handy, R.D., Depledge, M.H. 1999. Physiological responses: their measurement and use as environmental biomarkers in ecotoxicology. Ecotoxicology 8: 329-349.
- Harikrishnan, R., Balasundaram, C., Heo, M.S. 2010. *Lactobacillus sakei* BK19 enriched diet enhances the immunity status and disease resistance to streptococcosis infection in kelp grouper, *Epinephelus bruneus*. Fish and Shellfish Immunology 29: 1037-1043.
- I.F.O. 2014. Statistical yearbook of Iranian Fisheries Organization. 1382-1392. Iranian Fisheries Organization 64 p.
- Kiabi, B. H., Abdoli, A., Naderi, M. 1999. Status of the fish fauna in the South Caspian Basin of Iran. Zoology in the Middle East 18: 57-65.
- Krogdahl, A., Bakke-McKellep, A. M. 2005. Fasting and re-feeding cause rapid changes in intestinal tissue mass and digestive enzyme capacities of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. Comparative Biochemistry and Physiology 141A: 450-460.
- Kültz, D., Jürss, K. 1991. Acclimation of chloride cells and Na⁺/K⁺-ATPase to energy deficiency in tilapia (*Oreochromis mossambicus*). Zoologische Jahrbuch für Zoologie und Physiologie der Tiere 95: 39-50.
- Li, H., Xu, W., Jin, J., Yang, Y., Zhu, X., Han, D., Liu, H., Xie, S. 2018. Effects of starvation on glucose and lipid metabolism in gibel carp (*Carassius auratus gibelio* var. CAS III). Aquaculture 496: 166-175.
- Love, R.M. 1970. The chemical biology of fishes. Academic Press, Michigan, 547 p.
- Marshall, W.S., Singer, T.D. 2002. Cystic fibrosis transmembrane conductance regulator in teleost fish. Biochimica et Biophysica Acta 1566: 16-27.
- Navarro, I., Carneiro, M. N., Parrizas, M., Maestro, J. L., Planas, J., Gutierrez, J. 1993. Post-feeding levels of insulin and glucagon in trout (*Salmo trutta fario*). Comparative Biochemistry and Physiology 104A: 389-393.
- Polakof, S., Arjona, F.J., Sangiao-Alvarellos, S., del Río, M.P.M., Mancera, J.M., Soengas, J.L. 2006. Food deprivation alters osmoregulatory and metabolic responses to salinity acclimation in gilthead sea bream *Sparus auratus*. Journal of Comparative Physiology 176: 441-452.
- Rubio, V.C., S. tive Physiolo, F.J., Madrid, J.A. 2005. Effects of salinity on food intake and macronutrient selection in European sea bass. Physiology and Behavior 85: 333-339.
- Sakyi, M.E., Cai, J., Tang, J., Xia, L., Li, P., Abarike, E.D., Jian, J. 2020. Short term starvation and re-feeding in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758): Growth measurements, and immune responses. Aquaculture Reports 16: 100261.
- Shirangi, S.A., Kalbassi, M.R., Khodabandeh, S., Lignot, J.H. 2019. Effects of cortisol treatment on the salinity tolerance of Persian sturgeon, *Acipenser persicus* Juveniles. Caspian Journal of Environmental Sciences 17: 131-142.
- Shoji, J., Aoyama, M., Fujimoto, H., Iwamoto, A., Tanaka, M. 2002. Susceptibility to

- starvation by piscivorous Japanese Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius* (Scombridae) larvae at first feeding. *Fisheries Science* 68: 59-64.
- Sinha, A.K., Rasoloniriana, R., Dasan, A.F., Pipralia, N., Blust, R., Boeck, G.D. 2015. Interactive effect of high environmental ammonia and nutritional status on ecophysiological performance of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) acclimated to reduced seawater salinities. *Aquatic Toxicology* 160: 39-56.
- Siwicki A.K., Anderson D.P. 1993. Nonspecific defense mechanisms assay in fish: II. Potential killing activity of neutrophils and macrophages, lysozyme activity in serum and organs and total immunoglobulin level in serum. *Fish Disease Diagnosis and Prevention Methods* Olsztyn, Poland, 105-112.
- Tamadoni, R., Nafisi Bahabadi, M., Morshedi, V., Bagheri, D., Torfi Mozanzadeh, M. 2020. Effect of short-term fasting and re-feeding on growth, digestive enzyme activities and antioxidant defence in yellowfin seabream, *Acanthopagrus latus* (Houttuyn, 1782). *Aquaculture Research* 51: 1437-1445.
- Taylor, J.R., Mager, E.M., Grosell, M. 2010. Basolateral NBCe1 plays a rate-limiting role in transepithelial intestinal HCO₃⁻ secretion, contributing to marine fish osmoregulation. *Journal of Experimental Biology* 213: 459-468.
- Torfi Mozanzadeh, M., Safari, O., Oosooli, R., Mehrjooyan, S., Zabayah Najafabadi, M., Hoseini, S.J., Saghavi, H., Monem, J. 2021. The effect of salinity on growth performance, digestive and antioxidant enzymes, humoral immunity and stress indices in two euryhaline fish species: Yellowfin Sea bream (*Acanthopagrus latus*) and Asian seabass (*Lates calcarifer*). *Aquaculture* 534: 736329.
- Urbina, M.A., Glover, C.N. 2015. Effect of salinity on osmoregulation, metabolism and nitrogen excretion in the amphidromous fish, inanga (*Galaxias maculatus*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 473: 7-15.
- Van Dijk, P., Staaks, G., Hardewig, I. 2002. The effect of fasting and refeeding on temperature preference, activity and growth of roach, *Rutilus rutilus*. *Oecologia* 130: 496-504.
- Varsamos, S., Nebel, C., Charmantier, G. 2005. Ontogeny of osmoregulation in postembryonic fish: A review. *Comparative Biochemistry and Physiology* 141A: 401-429.
- White, A., Fletcher, T.C. 1984. Radioimmunoassay of serum cortisol in the plaice (*Pleuronectes platessa* L.). *General and Comparative Endocrinology* 53: 410-417.
- Whittamore, J.M. 2011. Osmoregulation and epithelial water transport: lessons from the intestine of marine teleost fish. *Journal of Comparative Physiology* 182B: 1-39.
- Wood, C.M., Bucking, C., Grosell, M. 2010. Acid-base responses to feeding and intestinal Cl⁻ uptake in freshwater- and seawater-acclimated killifish, *Fundulus heteroclitus*, an agastric euryhaline teleost. *Journal of Experimental Biology* 213: 2681-2692.
- Wu, X., Chen, Y., Lai, J., Liu, Y., Song, M., Gong, Q., Long, Z. 2021. Effects of starvation and refeeding on growth performance, appetite, growth hormone-insulin-like growth factor axis levels and digestive function of *Acipenser dabryanus*. *British Journal of Nutrition* 126: 695-707.
- Zheng, Z.L., Tan, J.Y.W., Liu, H.Y., Zhou, X.H., Xiang, X., Wang, K.Y. 2009. Evaluation of oregano essential oil (*Origanum heracleoticum* L.) on growth, antioxidant effect and resistance against *Aeromonas hydrophila* in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture* 292: 214-218.