Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics

Online ISSN: 2345-427X
Print ISSN: 2345-4288

Effects of different water hardness levels on, growth indices, survival rate, hematological parameters and culture water quality of Caspian kutum fingerlings (*Rutilus frisii*)

Fatemeh Neyjan[1], Mohammad Kazem Khalesi[*2], Sohrab Kohestan Eskandari[3]

1. M.Sc. Graduate, Dept. of Fisheries Ecology, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran. E-mail: fatemehneyjan73@yahoo.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Fisheries, Faculty of Animal Science and Fisheries, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran. E-mail: khalesi46@gmail.com
3. Instructor, Dept. of Fisheries, Faculty of Animal Science and Fisheries, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran. E-mail: s.e.kohestan@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 05.14.2022
Revised: 05.03.2022
Accepted: 06.12.2022

Keywords:
Blood parameters,
Growth,
Physicochemical factors,
Rutilus kutum,
Water hardness

ABSTRACT

The effect of different water hardness levels on growth indices, survival rate, hematological parameters, and water quality of Caspian Kutum (*Rutilus kutum*) fingerlings was investigated in a completely randomized design with six water hardness treatments (350, 600, 650, 700, 800, and 900 mg of calcium carbonate, $CaCO_3$) each with three replications containing 13 pieces of fish (n = 300 in total) with an average weight of 2 g for 56 days. The highest final weight, body weight gain, and daily growth rate were estimated in a water hardness of 650 mg/L $CaCO_3$ ($P<0.05$); the same treatment represented the minimum feed conversion ratio and the lowest daily food intake ($P<0.05$). The highest values of water hardness and alkalinity were measured in the treatment with a hardness of 900 mg/L $CaCO_3$ ($P<0.05$). A water hardness of 350 mg/L $CaCO_3$ caused the highest levels of red blood cells in well water (600 mg/L $CaCO_3$) + distilled water with ($P<0.05$). The highest and lowest hemoglobin levels were estimated in treatments containing 700 and 900 mg/L $CaCO_3$, respectively ($P<0.05$). Cortisol and glucose and fish meat sodium and calcium were respectively uppermost in water hardness values of 900 and of 650 mg $CaCO_3$ ($P<0.05$). Therefore, water hardness of 650 mg/L $CaCO_3$ led to the highest values of final weight, body weight gain, and daily growth rate in *R. kutum* fingerlings in the laboratory ($P<0.05$), which can be used for the culture of this valuable fish species.

Cite this article: Neyjan, Fatemeh, Khalesi, Mohammad Kazem, Kohestan Eskandari, Sohrab. 2023. Effects of different water hardness levels on, growth indices, survival rate, hematological parameters and culture water quality of Caspian kutum fingerlings (*Rutilus frisii*). *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 11 (4), 61-80.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/japu.2023.20174.1658
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان

شاپا آنلاین: ۲۳۴۵-۴۲۷X
شاپا چاپی: ۲۳۴۵-۴۲۸۸

اثر سختی‌های مختلف بر رشد، فراسنجه‌های خونی، نرخ بازماندگی و کیفیت آب پرورش بچه‌ماهی سفید دریای خزر (*Rutilus frisii*)

فاطمه نیجان[۱]، محمدکاظم خالصی*[۲]، سهراب کوهستان اسکندری[۳]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه اکولوژی شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: fatemehneyjan73@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: khalesi46@gmail.com

۳. مربی گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: s.e.kohestan@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۴
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۲

واژه‌های کلیدی:
رشد،
سختی آب،
فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی،
فراسنجه‌های خونی،
ماهی سفید

چکیده

تأثیر سطوح مختلف سختی آب بر روی شاخص‌های رشد، نرخ بازماندگی، پارامترهای خون‌شناسی، و کیفیت آب پرورش بچه‌ماهیان سفید دریای خزر (*Rutilus kutum*) در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش تیمار سختی آب (۳۵۰، ۶۰۰، ۶۵۰، ۷۰۰، ۸۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم کربنات کلسیم، $CaCO_3$) هر کدام با سه تکرار حاوی ۱۳ قطعه ماهی (جمعاً ۳۰۰ قطعه) با میانگین وزن ۲ گرم به مدت ۵۶ روز بررسی شد. بیش‌ترین میزان وزن نهایی، افزایش وزن بدن، نرخ رشد روزانه در تیمار حاوی سختی ۶۵۰ mg/L $CaCO_3$ برآورد شد ($P<0/05$) و در همین تیمار حداقل میزان ضریب تبدیل و کم‌ترین میزان غذای خورده شده روزانه به‌دست آمد ($P<0/05$). بیش‌ترین مقادیر سختی و قلیائیت آب درتیمار حاوی ۱۵ گرم کربنات کلسیم در ۶۰ لیتر آب با سختی ۹۰۰ mg/L $CaCO_3$ وجود داشت ($P<0/05$). بیش‌ترین میزان گلبول قرمز در تیمار آب سالن (۶۰۰ mg/L $CaCO_3$) + آب مقطر با سختی ۳۵۰ mg/L $CaCO_3$ و بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر هموگلوبین به ترتیب در تیمارهای حاوی سختی‌های ۷۰۰ و ۹۰۰ mg/L $CaCO_3$ برآورد شدند ($P<0/05$). بیش‌ترین سطوح معنی‌دار کورتیزول و گلوکز در تیمار حاوی ۱۵ گرم $CaCO_3$ با سختی ۹۰۰ mg/l ثبت شد ($P<0/05$). بیش‌ترین مقادیر سدیم و کلسیم گوشت به ترتیب در تیمار با سختی ۶۵۰ میلی‌گرم $CaCO_3$ به‌دست آمد ($P<0/05$). بنابراین، سختی آب ۶۵۰ میلی‌گرم $CaCO_3$ منجر به بالاترین مقادیر وزن نهایی، افزایش وزن بدن، و نرخ رشد روزانه در بچه‌ماهی سفید در محیط آزمایشگاهی گردید ($P<0/05$) که می‌تواند جهت پرورش این ماهی ارزشمند استفاده شود.

استناد: نیجان، فاطمه، خالصی، محمدکاظم، کوهستان اسکندری، سهراب (۱۴۰۱). اثر سختی‌های مختلف بر رشد، فراسنجه‌های خونی، نرخ بازماندگی و کیفیت آب پرورش بچه‌ماهی سفید دریای خزر (*Rutilus frisii*). *نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان*، ۱۱ (۴)، ۸۰-۶۱.
DOI: 10.22069/japu.2023.20174.1658

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

ماهیان موجوداتی خونسرد هستند و زیستن آن‌ها به‌شدت به کیفیت محیط زندگی یعنی آب که چه در طبیعت و چه در استخرهای پرورشی باید بتواند نیازهای فیزیولوژیکی ماهی را تأمین نماید. برای فراهم آوردن امکان مدیریت موفق یک مزرعه پرورش ماهی، باید اطلاعاتی از ویژگی‌های کیفی آب شامل دما، اکسیژن، سختی و غیره به‌دست آورده شود (۱). پایش مناسب فاکتورهای کیفی آب (کیفیت آب) با هدف نگهداری غلظت فاکتورهای مختلف زیست‌محیطی آب در دامنه مناسب و بهینه سبب افزایش سرعت رشد ماهیان، کارایی مناسب غذایی و کاهش بروز بیماری در مقیاس وسیع می‌شوند (۲ و ۳). کیفیت آب در اکوسیتم‌های آبی به وسیله پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بررسی می‌شود (٤). بنابراین مطالعه خصوصیات فیزیکوشیمیایی منابع آبی مختلف و شناخت نوع روابط آن‌ها با فاکتورهای رشد و بازماندگی در ماهیان تجاری با ارزش و ضروری به‌نظر می‌رسد (۵). عوامل فیزیکوشیمیایی آب مانند هدایت الکتریکی[1] آب، اکسیژن، آمونیاک، نیترات، نیتریت، قلیائیت[2] و سختی[3] در پرورش ماهیان مؤثرند و به همین دلیل جهت پرورش موفقیت‌آمیز ماهیان پرورشی، کیفیت آب تحت مدیریت کامل قرار می‌گیرد (٦). بنابراین باید سعی شود تا حد امکان عوامل فیزیکوشیمیایی آب در محدوده مورد نیاز ماهی حفظ گردد تا میزان رشد و بازماندگی آن افزایش یابد (۷). یک استخر با کیفیت آب خوب، منجر به تولید ماهی بیش‌تر و سالم‌تری می‌شود که این مهم سلامت مصرف‌کننده را نیز تضمین می‌کند (۸). شناسائی و تشخیص زودهنگام تغییرات در کیفیت آب باعث جلوگیری از اثرات جبران‌ناپذیر آن خواهد شد.

سختی آب به طور عمده مربوط به نمک‌های کلسیم و منیزیم است. سایر فلزات محلول در آب مانند آهن، مس، روی و سرب نیز در سختی آب تأثیر دارد. ولی چون در آب‌های طبیعی مقادیر این فلزات بسیار اندک است، بنابراین در محاسبه سختی منظور نمی‌شود. سختی یکی از فاکتورهای قابل اندازگیری می‌باشد (۹). عموماً درجه سختی بر اساس اندازه‌گیری غلظت کربنات کلسیم[4] است. سختی به‌عنوان نشانگر غلظت کاتیون‌های دو ظرفیتی، شامل کلسیم، منیزیم، استرانسیوم، آهن و منگنز، در آب است. مقدار استرانسیوم در آب بسیار اندک و میزان دو عنصر آهن و منگنز نیز بسیار ناچیز بوده، از این‌رو در محاسبه سختی آب در نظر گرفته نمی‌شوند؛ بنابراین سختی آب ناشی از کلسیم[5] (Ca^{2+}) و منیزیم[6] (Mg^{2+}) به‌عنوان مهم‌ترین املاح عامل سختی آب‌ها می‌شود. هر دو یون در نفوذپذیری غشاهای بیولوژیکی تأثیر می‌گذارند و موجب کاهش جریان انتشار زیاد یون به آب می‌شود (۱۰ و ۱۱).

غلظت سختی برای حیوانات آبزی مهم است. عناصر کلسیم و منیزیم برای شکل‌گیری اسکلت و درنتیجه رشد ماهی ضروری هستند. ماهیان می‌توانند کلسیم و منیزیم را به‌طور مستقیم از آب یا غذا جذب کنند و به عبارتی کلسیم مهم‌ترین یون دو ظرفیتی کوچک در محیط پرورش ماهی است (۱۲). میزان کلسیم موجود در محیط آبی نقش تعیین‌کننده‌ای برای سیستم تنظیم اسمزی[7] ماهی دارد، یعنی فرایندهای زیستی باعث نگهداری سطوح داخلی نمک‌های خون می‌شوند و در تنظیم ضربان طبیعی قلب و انجام وظایف دستگاه اعصاب و ماهیچه‌های بدن نقش مؤثری دارند (۱۳). سختی آب در دامنه مجاز برای

1- Electrical Conductivity (Ec)
2- Alkalinity
3- Hardness
4- $CaCO_3$
5- Calcium
6- Magnesium
7- Osmoregulation

رشد ماهی قزل‌آلا اثر احتمالی سمیت برخی یون‌ها اعم از مس و روی که می‌توانند از طریق آبشش به ماهی وارد شوند را کم‌تر کرد (١٤). نسبت‌های مختلف سختی کلسیمی به قلیائیت کل اثرات منفی بر رشد و کارایی غذا در ماهی تیلاپیای نیل داشتند (١٥). زمانی که کلسیم محیط کم است، حیوانات آبزی براساس شیب و گرادیان غلظت کلسیم موجود در محیط، مقداری از کلسیم خون بدن خود را رها کرده و به درون آب پس می‌دهند (١٣). اگرچه چندین مطالعه در رابطه با دامنه وسیعی از فاکتورهای محیطی بررسی شده است، اما اطلاعات بر روی تأثیر سختی آب بر فیزیولوژی، شرایط پرورش و رشد ماهیان نادر و اطلاعات کمی در این زمینه در دسترس است.

ماهی سفید *Rutilus frisii* (Kamenskii، ١٩٠١) یکی از با ارزش‌ترین ماهیان تجاری ایران و یک گونه نیمه مهاجر و یوری هالین است. به دلیل از بین رفتن بسیاری از زیستگاه‌های طبیعی، ماهی سفید را تنها از طریق طبیعی نمی‌توان بازسازی کرد، در نتیجه تولید و پرورش مصنوعی آن ضروری است. بنابراین به دست آوردن میزان سختی آب بهینه در شرایط پرورشی به‌عنوان یک عامل مهم جهت پرورش مصنوعی این ماهی اهمیت دارد. هدف از انجام این پژوهش، تعیین دامنه مناسب سختی آب بر اساس میزان رشد و بازماندگی بچه‌ماهی سفید انگشت‌قد است. نتایج این پژوهش برای بهبود شرایط درباره گونه‌های در حال بازسازی مثل ماهی سفید لازم به نظر می‌رسد. با مشخص شدن این موضوع، اطلاعات بیش‌تری در زمینه فیزیولوژی و شرایط پرورش این گونه به دست می‌آید که می‌تواند در مطالعات اکولوژیکی به کار رود. هم‌چنین با استفاده از اطلاعات این مطالعه، می‌توان مدیریت مناسب‌تری را در کنترل کیفی آب مخازن کارگاه‌های تکثیر و پرورش این ماهی اعمال کرد و ضمن حفظ سلامت ماهیان مذکور، تولید ماهیان بیش‌تر، سالم‌تر و درشت‌تری با هزینه تمام شده کم‌تر امکان‌پذیر گردد. بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات سطوح مختلف سختی آب بر رشد و بازماندگی بچه‌ماهیان سفید انگشت‌قد و بر پارامترهای کیفی آب جهت تعیین سطوح بهینه برای ماهی سفید صورت گرفت تا در شرایط پرورش این گونه در آینده مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، ۳۰۰ عدد بچه‌ماهی سفید انگشت‌قد با میانگین وزنی ۲ گرم از مرکز تکثیر و بازسازی آبزیان شهید رجایی ساری تهیه و به سالن آکواریوم گروه شیلات در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری منتقل شدند. بچه‌ماهیان در شرایط آزمایشگاهی به مدت ۱۰ روز در آکواریوم‌هایی به اندازه ۳۰×٤۰×۵۰ در حجم ٦۰ لیتر آب با تراکم ۱۳ قطعه ماهی در دما ۲۲-۲۳ درجه سانتی‌گراد سازگار شدند. این آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی[1] با شش تیمار و سه تکرار با سطوح مختلف سختی آب (۳۵۰، ٦۰۰، ٦۵۰، ۷۰۰، ۸۰۰ و ۹۰۰ $mg/L\ CaCO_3$) انجام شد. از آن‌جا که زیستگاه اصلی ماهی سفید دریای خزر است و توانایی مهاجرت به نواحی بالا دست رودخانه‌های آب شیرین را دارد، سختی‌های ارائه شده در دامنه شرایط زیستگاه طبیعی این ماهی قرار دارند.

تیمار ۱: ۵۰ درصد آب چاه (با سختی طبیعی حدود ٦۰۰ $mg/L\ CaCO_3$) + ۵۰ درصد آب مقطر (۳۵۰ $mg/L\ CaCO_3$)

تیمار ۲: آب چاه با سختی ٦۰۰ $mg/L\ CaCO_3$

تیمار ۳: آب چاه + ٦ گرم کربنات کلسیم در ٦۰ لیتر آب با سختی ٦۵۰ $mg/L\ CaCO_3$

تیمار ٤: آب چاه + ۹ گرم کربنات کلسیم در ٦۰ لیتر آب با سختی ۷۰۰ $mg/L\ CaCO_3$

1- Completely Randomized Design (CRD)

تیمار ۵: آب چاه + ۱۲ گرم کربنات کلسیم در ٦۰ لیتر آب با سختی ۸۰۰ mg/L $CaCO_3$

تیمار ٦: آب چاه + ۱۵ گرم کربنات کلسیم در ٦۰ لیتر آب با سختی ۹۰۰ mg/L $CaCO_3$

بچه‌ماهیان سفید انگشت‌قد در طول دوره آزمایش با استفاده از جیره طراحی شده (جدول ۱) (١٦) ٤ بار در روز به میزان ۸ درصد وزن (با توجه به نتایج پیش آزمایش، غذادهی در این میزان در حد اشباع بود) در چهار نوبت (ساعات ۸، ۱۱، ١٤، ۱۷) به مدت ٥٦ روز تغذیه شدند. طول دوره نوری برای همه تیمارها ١٤ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی (دوره روشنایی از ساعت ٦ صبح تا ٦ بعدازظهر و ۲ ساعت روشنایی مصنوعی با لامپ) بود. جهت تأمین هوادهی و نیاز اکسیژنی ماهیان، یک سنگ هوا متصل به منبع هواده در هر یک از آکواریوم‌ها نصب شد. تعویض ۵۰ درصد آب هر ۷ روز یکبار انجام گرفت. هنگام تعویض آب، مقادیر مورد نیاز از کربنات کلسیم برای ایجاد سختی مورد نظر محاسبه و به هر آکواریوم اضافه گردید. قبل و بعد از تعویض آب در ساعات اولیه روز (۹-۸ صبح) سختی آب اندازه‌گیری می‌شد. آکواریوم‌های نگهداری ماهیان در چند ردیف قرار داشتند و غلظت‌های پیش‌بینی شده تیمار آزمایش بر روی آن‌ها یادداشت شد. چیدمان اکواریوم‌ها به‌صورت کاملاً تصادفی انجام گرفت. بچه‌ماهیان به‌مدت ٥٦ روز در معرض غلظت‌های موردنظر از کربنات کلسیم قرار گرفتند. هر دو هفته یکبار عمل زیست‌سنجی بچه‌ماهیان انجام شد.

جدول ۱- اجزای غذایی و ترکیب جیره بچه‌ماهی سفید.

ترکیبات جیره	(درصد)
پودر ماهی	۲۷
آرد سویا	۱۸
آرد گندم	١٦
آرد ذرت	۱۷
ژلاتین[1]	۲/۰٤
روغن آفتابگردان	۵
مکمل ویتامینه[2]	۲
مکمل معدنی[3]	۲
ویتامین C[4]	/۲
دی کلسیم فسفات[5]	۰/۵
فیلر (ماسه)	۱۰/۲٦
پروتئین	۳۵
چربی	١٤

۱ ژلاتین آریا، مشهد، ایران

۲ شرکت لابراتوارهای سئانس (قزوین، ایران). هر ۱۰۰۰ گرم پرمیکس ویتامینه حاوی ۱٦۰۰۰۰۰ IU ویتامین A، ٤۰۰۰۰۰ IU ویتامین D3، ۳۰ گرم ویتامین E، ۱۰ گرم تیامین، ۸ گرم ریبوفلاوین، ٤۰ گرم پیریدوکسین، ۲ گرم اسید-فولیک، ۰/۰۱ گرم سسیانوکوبالامین، ۱۰۰ گرم ویتامین C، ۱۰ گرم ویتامین K3، ۱۰ گرم بیوتین، ۲۰ گرم BHT و ۱۰۰ گرم ویتامین اینوزینول می‌باشد.

۳ شرکت لابراتوارهای سئانس (قزوین، ایران). هر ۱۰۰۰ گرم پرمیکس معدنی حاوی ۲۰ گرم آهن، ٦۰ گرم روی، ٤۰۰ میلی‌گرم سلنیوم، ۲۰۰ میلی‌گرم کبالت، ۲ گرم مس، ٤۰ گرم منگنز و ٤۰۰ میلی‌گرمی می‌باشد.

٤ شرکت لابراتوارهای سئانس (قزوین، ایران)

۵ شرکت ارس تابان، مازندران، ایران

محاسبه شاخص‌های رشد بچه‌ماهیان: در اول و آخر دوره، زیست‌سنجی بچه‌ماهیان با اندازه‌گیری وزن (با دقت ۰/۱ گرم) از طریق بیهوش کردن بچه‌ماهیان با پودر گل میخک (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) صورت گرفت.

– افزایش وزن بدن (Body weight increase) (۱۷)؛

$$BWI = Wt_2 - Wt_1$$

که در آن، Wt_1 گرم وزن اولیه ماهی، Wt_2 گرم وزن نهایی ماهی.

– نرخ رشد ویژه (درصد در روز) (Specific growth rate)؛ (۱۸)

$$SGR(\%/day) = [(LnWt_2 - LnWt_1) / t_2-t_1]\times100$$

که در آن، $LnWt_1$ لگاریتم طبیعی وزن اولیه ماهی، $LnWt_2$ لگاریتم طبیعی نهایی ماهی، t_2-t_1 طول دوره آزمایش.

– رشد روزانه (گرم در روز) (Growth rate)؛ (۱۹)

$$GR\ (g / day) = [Wt_2 - Wt_1 / (t_2 - t_1)]$$

که در آن، Wt_1 گرم وزن اولیه ماهی، Wt_2 گرم وزن نهایی ماهی، $t_2 - t_1$ طول دوره آزمایش.

– ضریب تبدیل غذایی (Feed conversion ratio) (۱۸)؛

$$FCR = F/WG$$

که در آن، WG افزایش وزن، F مقدار غذای داده شده.

– غذای خورده‌شده روزانه (درصد در روز) (Feed intake)؛ (۲۰)

$$Feed\ intake\ (\%/day) = 100 \times I / [(Wt_2+Wt_1) / 2 \times (t_2 - t_1)]$$

که در آن، I کل غذای خورده شده بر حسب گرم، Wt_1 گرم وزن اولیه ماهی، Wt_2 گرم وزن نهایی ماهی، $t_2 - t_1$ طول دوره آزمایش.

– درصد بقاء (Survival rate) (۲۱)؛

$$Survival\ rate = (Nt - N0) \times100$$

(Ai et al., 2006)

– فاکتور وضعیت: K، وزن نهایی (گرم) در انتهای پرورش/ (طول نهایی (cm) در انتهای پرورش)^3 * ۱۰۰

آب هر آکواریوم هر ۷ روز یک‌بار به اندازه ۵۰ درصد تعویض و مواد دفعی هر آکواریوم به‌طور روزانه سیفون گردید. اندازه‌گیری روزانه دما با دماسنج، TDS، EC، pH و اکسیژن هر سه روز یک‌بار با استفاده از دستگاه پرتابل HATCH، میزان آمونیاک و نیترات (هر سه روز یکبار)، سختی و قلیائیت (هفته‌ای یکبار) با روش تیتراسیون، و کلسیم و سدیم آب با دستگاه flame photometer انجام شد. کدورت نیز طی ۵ روز متوالی پس از تعویض آب اندازه‌گیری شد (دستگاه فتومتر[1] مدل AL400 از شرکت Aqualytic ساخت آلمان).

اندازه‌گیری سختی: سختی معمولاً به‌واسطه یون‌های کلسیم و منیزیم موجود در آب تعریف می‌شود اما عناصر چندظرفیتی مانند استرانسیونم، آهن، آلومنیوم، روی و منگنز قادر به رسوب دادن صابون هستند و در ایجاد سختی آب مؤثرند. غلظت این یون‌ها در آب‌ها خیلی‌کم بوده و بنابراین سختی معمولاً برحسب غلظت کلسیم و منیزیم (به‌صورت کربنات کلسیم) که نسبت به سایر یون‌های تشکیل‌دهنده سختی آب از کمیت خیلی بیش‌تری برخوردارند، اندازه‌گیری می‌شود. کلسیم و منیزیم با معرف اریکروم بلک تی یک ترکیب به رنگ قرمز شرابی ایجاد می‌کند.

1- Photometer

EDTA میل ترکیبی شدیدتری نسبت به Ca^{+2} و Mg^{+2} دارد، بنابراین با افزودن آن ترکیب قبلی شکسته شده و ترکیب جدیدی به رنگ آبی تشکیل می‌شود.

آنالیز لاشه: برای نمونه‌برداری از لاشه ماهیان، ۲٤ ساعت قبل از کشتار به ماهیان غذا داده نشد. از هر تکرار ۳ قطعه ماهی (هر تیمار ۹ ماهی) برای نمونه‌برداری به صورت تصادفی انتخاب گردید. آنالیز ترکیبات لاشه و جیره به روش AOAC (۲۲) انجام شد. پس از خارج کردن دستگاه گوارش ماهیان، لاشه آن‌ها پس از خرد کردن و یکنواخت‌شدن برای اندازه‌گیری کلسیم و سدیم مورد استفاده قرار گرفت. مقداری از لاشه در پلیت‌های شیشه‌ای قرار داده شد و در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲٤ ساعت خشک گردید. برای گرفتن خاکستر از نمونه‌های خشک شده استفاده شد. این نمونه‌ها در بوته چینی به‌مدت ۸ ساعت در کوره الکتریکی در دمای ٥٤٦ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پروتئین با استفاده از روش کلدال و اندازه‌گیری چربی از روش سوکسله با استفاده از حلال صورت گرفت. کلسیم و سدیم با استفاده از جذب فتومتری با دستگاه فلیم اتمی اندازه‌گیری شد (۲۲).

اندازه‌گیری فاکتورهای خونی: در پایان دوره آزمایش همه ماهیان آکواریوم بیهوش و پس از قطع ساقه دمی به‌منظور اندازه‌گیری فاکتورهای شمارشی و بیوشیمیایی، خون‌گیری انجام شد. تعداد گلبول‌های قرمز خون (RBC)، تعداد گلبول‌های سفید خون (WBC)، میزان هماتوکریت (HCT)، هموگلوبین (Hb) و شمارش افتراقی گلبول‌های سفید خون (نوتروفیل، لنفوسیت، ائوزینوفیل و مونوسیت) به‌عنوان فاکتورهای شمارشی خون سنجیده شدند. مقادیر گلوکز (به روش گلوکز اکسیداز) و کورتیزول خون با دستگاه اتوآنالایزر و توسط کیت‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد.

برای سنجش هماتوکریت شش عدد ماهی به طور تصادفی از هر تیمار انتخاب و با قطع ساقه دمی و استفاده از لوله موئینه ساخت لندن خونگیری شدند. نمونه‌های خون با دستگاه سانتریفوژ مدل DAMON/IEC Division در ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه سانتریفوژ شدند. بعد از سانتریفوژ، درصد هماتوکریت با دستگاه هماتوکریت‌خوان مدل DAMON/IEC Division اندازه‌گیری شد.

برای شمارش گلبول سفید، ۹۵۰ لاندا خون با ۵۰ لاندا محلول دایس مخلوط گردید. بعد از گذشت ۱۰ دقیقه یک قطره از این ترکیب روی لام نئوبار ریخته شد، لامل را روی آن قرار گرفت و سپس زیر میکروسکوپ شمارش گردید. سپس تعداد شمارش شده در ۱٦ خانه مربوط به گلبول سفید با هم جمع و در عدد ۵۰ ضرب شد تا تعداد گلبول سفید شمارش شود.

جهت شمارش گلبول قرمز، خون‌های هپارینه با استفاده از پی‌پت ملانژور قرمز به نسبت ۱/۲۰۰ در محلول نات و هریک (۲۳) رقیق و با استفاده از لام هماتوسیتومتر (نئوبار) و میکروسکوپ شمارش شدند.

هموگلوبین به روش سیانومت هموگلوبین در طول موج ٥٤٦ نانومتر (۲٤) با استفاده از کیت آزمایشگاهی شرکت پارس آزمون و دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین گردید.

تجزیه و تحلیل آماری: تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از آنالیز واریانس یکطرفه[1] با استفاده از برنامه نرم‌افزاری SPSS انجام و جهت تعیین اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن[2] در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید. نرمال بودن داده‌ها با آزمون Shapiro-Wilk بررسی و همگنی واریانس‌ها با آزمون Levene آزمایش شد.

1- One–way ANOVA
2- Duncan

نتایج

فاکتورهای فیزیکوشیمیایی آب پرورش: نتایج نشان داد که کدورت، نیترات، و امونیاک در سطوح مختلف سختی اختلاف معنی‌داری داشتند به‌طوری‌که با افزایش سختی میزان کدورت و نیترات افزایش یافت (P<۰/۰۵). کم‌ترین میزان کدورت آب در تیمار آب سالن + آب مقطر با سختی ۳۵۰ mg/L $CaCO_3$ مشاهده شد (P<۰/۰۵) و بیش‌ترین میزان کدورت آب در تیمار حاوی ۱۵ گرم کربنات کلسیم در ٦۰ لیتر آب با سختی ۹۰۰ mg/L $CaCO_3$ مشاهده گردید (P<۰/۰۵). بین تیمارهای مختلف کدورت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. کم‌ترین میزان آمونیاک آب در تیمار آب سالن با سختی ٦۰۰ mg/L $CaCO_3$ مشاهده شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان داد (P<۰/۰۵). بیش‌ترین میزان آمونیاک در تیمار حاوی ۹ گرم کربنات کلسیم در ٦۰ لیتر آب با سختی ۷۰۰ mg/L $CaCO_3$ مشاهده شد (P <۰/۰۵). مقادیر آمونیاک در بین تیمارهای آب سالن و آب سالن + آب مقطر بدون اختلاف معنی‌داری بودند ولی با تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری داشتند. کم‌ترین میزان نیترات در تیمار آب سالن + آب مقطر با سختی ۳۵۰ mg/L $CaCO_3$ و بیش‌ترین میزان نیترات در تیمار حاوی ۱۵ گرم کربنات کلسیم در ٦۰ لیتر آب با سختی ۹۰۰ mg/L $CaCO_3$ مشاهده گردید (P<۰/۰۵). نیترات در بین تیمارهای آب سالن و آب سالن +آب مقطر اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

جدول ۲- اثر تیمارهای مختلف کربنات کلسیم بر میزان کدورت (FAU)، آمونیاک و نیترات آب (میانگین ± انحراف معیار).

تیمار سختی آب (g $CaCO_3$/60 L)	کدورت (FAU)	آمونیاک	نیترات
آب سالن + مقطر	۳/۳۳±۲/۰۸^{a}	۰/۰۰۰٤±۰/۰۰۰^{a}	۰/۰۰۰٤۲±۰/۰۰۰^{a}
آب سالن	۹/۰۰±٦/۰۰^{a}	۰/۰۰۰۳±۰/۰۰۰^{a}	۰/۰۰۰٤۳±۰/۰۰۰^{a}
٦ گرم	۲۷/۰۰±۱۵/۵۸^{ab}	۰/۰۰۰۷±۰/۰۰۰^{b}	۰/۰۰۰٤۵±۰/۰۰۰^{b}
۹ گرم	۲۸/۳۳±٦/۱۱^{ab}	۰/۰۰۱۰±۰/۰۰۰^{b}	۰/۰۰۰٤٦±۰/۰۰۰^{b}
۱۲ گرم	۲۹/٦٦±۷/۰۹^{ab}	۰/۰۰۰۷±۰/۰۰۰^{b}	۰/۰۰۰۵۰±۰/۰۰۰^{c}
۱۵ گرم	٤٦/٦٦±۳۵/۸۰^{b}	۰/۰۰۰۷±۰/۰۰۰^{b}	۰/۰۰۰۵۵±۰/۰۰۰^{d}

بیش‌ترین میزان سختی و قلیائیت آب درتیمار حاوی ۱۵ گرم کربنات کلسیم در ٦۰ لیتر آب با سختی ۹۰۰ mg/L $CaCO_3$ وجود داشت (P <۰/۰۵). بیش‌ترین میزان کلسیم در تیمار آبگیری شده با آب سالن با سختی ٦۰۰ mg/L $CaCO_3$ مشاهده شد (P<۰/۰۵). از نظر مقادیر کلسیم در بین تیمارهای آب سالن + ۱۲ گرم کربنات کلسیم و آب سالن +۱۵ گرم کربنات کلسیم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. کم‌ترین مقادیر سدیم و منیزیم آب نیز در تیمار آبگیری شده آب سالن + آب مقطر با سختی ۳۵۰ mg/L $CaCO_3$ برآورد گردید (P<۰/۰۵). میزان نسبت کلسیم به منیزیم در تیمار حاوی ۱۵ گرم کربنات کلسیم در ٦۰ لیتر آب با سختی ۹۰۰ mg/L $CaCO_3$ حداقل بود (P<۰/۰۵) و بیش‌ترین میزان این نسبت در تیمار آب سالن + مقطر با سختی ۳۵۰ mg/L $CaCO_3$ به‌دست آمد (P<۰/۰۵) (جدول ۳).

جدول ۳- اثرات تیمارهای مختلف کربنات کلسیم بر مقادیر سختی، قلیائیت، کلسیم، سدیم، منیزیم و نسبت کلسیم بر منیزیم آب (میانگین ± انحراف معیار).

تیمار سختی آب g $CaCO_3$/) (60 L	کربنات کلسیم (g/l)	سختی (mg/l $CaCO_3$)	قلیائیت (mg/l$CaCO_3$)	کلسیم (mg/dl)	سدیم (mg/dl)	منیزیم (mg/dl)	نسبت کلسیم به منیزیم (mg/dl)
آب سالن+مقطر	–	۳٤۲/٦±۲۳^{a}	۱۰۲/٦٦±٤/٦۱^{a}	۱۰۱/٦±۰/۰۰^{ab}	۳۷/۲±۰/٤۲^{a}	۲۳۲/۳±۲/۸۲^{a}	۰/٤۳±۰/۰۰^{e}
آب سالن	–	٥۹۰/٦±٦/۱^{b}	۲۹۰/۰۰±٤/۰۰^{f}	۱٥٦/۲±۰/۸۱^{c}	٥۳/٤±۰/٤٦^{b}	٤٤٥/۷±۲/۰۱^{b}	۰/۳٥±۰/۰۰^{d}
٦ گرم	۰/۱۰	٦٦۱/۳±٤/٦۱^{c}	۲٥٦/۰۰±٤/۰۰^{d}	۱۰٥/۷±۷/۳۱^{bc}	٥۳/۲±۰/۲۱^{b}	٥٥۸/۲±۱/٦٥^{c}	۰/۱۸±۰/۰۰^{c}
۹ گرم	۰/۱٥	۷۱٤/٦±۲/۳^{d}	۲۲٤/۰۰±٤/۰۰^{c}	۹۹/۹±۰/۸۱^{ab}	٥۳/٥±۰/۲٥^{b}	٦۰۰±٤/۸٤^{d}	۰/۱٦±۰/۰۰^{b}
۱۲ گرم	۰/۲۰	۸۱٤/٦٦±۲/۳^{e}	۲۰٦/٦٦±٤/٦۱^{b}	۹۱/۹±٤/۰٦^{a}	٥۳/۱±۰/٦۳^{b}	۷۱۸±٤/٤۲^{e}	۰/۱۲±۰/۰۰^{a}
۱٥ گرم	۰/۲٥	۹۰٤/٦±۲/۳^{f}	۲۸٥/۳۳±۲/۳۰^{e}	۹۱/۹±٤/۰٦^{a}	٥۳/۷±۰/۷٦^{b}	۸۱٤±۱۲/٥٤^{f}	۰/۱۱±۰/۰۰^{a}

نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش سختی اثرات معنی‌داری بر مقادیر اکسیژن، و شوری آب در تیمارهای مختلف نداشت (P>۰/۰٥). بیش‌ترین میزان هدایت الکتریکی در تیمارهای آبگیری شده با آب سالن با سختی ٦۰۰ mg/L $CaCO_3$ وجود داشت (P<۰/۰٥). بیش‌ترین میزان TDS در تیمار آب سالن + مقطر با سختی ۳٥۰ mg/L $CaCO_3$ مشاهده گردید (P<۰/۰٥). TDS در بین تیمارهای آب سالن + ۱۲ گرم کربنات کلسیم و آب سالن + ۱٥ گرم کربنات کلسیم اختلاف معنی‌داری نداشت. بیش‌ترین میزان pH در تیمار آبگیری شده با آب سالن با سختی ٦۰۰ mg/L $CaCO_3$ برآورد شد (P<۰/۰٥). هم‌چنین با افزایش غلظت کربنات کلسیم از ۱۲ گرم با سختی ۸۰۰ mg/L $CaCO_3$ به ۱٥ گرم کربنات کلسیم در ٦۰ لیتر آب با سختی ۹۰۰ mg/L $CaCO_3$ میزان pH کاهش یافت (جدول ٤).

جدول ٤- اثر تیمارهای مختلف کربنات کلسیم بر پارامترهای فیزیکی- شیمیایی آب (میانگین ± انحراف معیار).

تیمار سختی آب (g $CaCO_3$/60 L)	دما (درجه سانتی‌گراد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	TDS (میلی‌گرم/لیتر)	شوری	pH	اکسیژن (میلی‌گرم/لیتر)
آب سالن + مقطر	۲۲/۲۳±۰/۱۱^{a}	٤٤٦/٦±٦٦/۹^{a}	۳۲٦/۰±٤/٥۸^{e}	۰/۲±۰/۰۰^{a}	۷/۱±۰/۱^{a}	۷/۸±۰/۰۰^{a}
آب سالن	۲۲/۰۳±۰/۰٥^{a}	٦۱٥/۰±۱۲/۱٥^{d}	۳۰٦/٦±٥/۱۳^{d}	۰/۳±۰/۰۰^{b}	۸/۱±۰/۱^{c}	۷/۷٦±۰/۲٥^{a}
٦ گرم	۲۲/۱۰±۰/۱۰^{a}	٦۰۳/٦±۱٦/۸^{cd}	۲۹٦/٦±٥/۱۳^{c}	۰/۳±۰/۰۰ ^{b}	۷/٥±۰/۱۰^{b}	۷/٦٦±۰/۳۲^{a}
۹ گرم	۲۲/۲۰±۰/۲۰^{a}	٥٤۸±۲۰/۰۷^{bc}	۲۷٦/۳±٥٦۸^{b}	۰/۳±۰/۰۰ ^{b}	۷/٥±۰/۱٥^{b}	۷/٥۳±۰/۳۷^{a}
۱۲ گرم	۲۲/۰۳±۰/۰٥^{a}	٤۹۱/۳±۲٥/۰^{ab}	۲۳۷/۰±٦/۲٤^{a}	۰/۳±۰/۰۰ ^{b}	۷/۱±۰/۱^{b}	۷/٦٦±۰/۲۳^{a}
۱٥ گرم	۲۲/۱۳±۰/۱۱^{a}	٤۷٤/۰±۱٤/٤^{a}	۲۳٦/۳±٦/۱۱^{a}	۰/۳±۰/۰۰ ^{b}	۷/۱±۰/۱^{a}	۷/۷۳±۰/٥^{a}

آنالیز لاشه: نتایج بررسی تأثیر سختی‌های مختلف پرورش بر آنالیز لاشه ماهیان در جدول ٤ ارائه شده است. سطوح مختلف سختی تأثیر معنی‌داری بر مقادیر وزن خشک و مرطوب نداشت (P>۰/۰۵). کم‌ترین میزان وزن خشک در تیمار آب سالن + مقطر با سختی ۳۵۰ mg/L $CaCO_3$ (P<۰/۰۵)، بیش‌ترین میزان وزن خشک در تیمار آب سالن با سختی ٦۰۰ mg/L $CaCO_3$ (P<۰/۰۵)، بیش‌ترین میزان وزن مرطوب در تیمار آب سالن + مقطر با سختی ۳۵۰ mg/L $CaCO_3$ (P<۰/۰۵) و کم‌ترین میزان وزن مرطوب در تیمار آب سالن با سختی ٦۰۰ mg/L $CaCO_3$ و تیمار (۱۲ گرم کربنات کلسیم در ٦۰ لیتر آب) با سختی ۷۰۰ mg/L $CaCO_3$ مشاهده شد (P<۰/۰۵). کم‌ترین میزان پروتئین در تیمار با سختی ۹۰۰ mg/L $CaCO_3$ (۱۵ گرم در ٦۰ لیتر کربنات کلسیم) (P<۰/۰۵) و بیش‌ترین میزان پروتئین در تیمار با سختی ۳۵۰ mg/L $CaCO_3$ (آب سالن+ مقطر) اندازه‌گیری گردید (P<۰/۰۵). بیش‌ترین میزان چربی لاشه در تیمار با سختی ۹۰۰ mg/L $CaCO_3$ (۱۵ گرم در ٦۰ لیتر کربنات کلسیم) (P<۰/۰۵) و کم‌ترین میزان چربی نیز در تیمار (آب سالن + مقطر) با سختی ۳۵۰ mg/L $CaCO_3$ ثبت شد (P<۰/۰۵). در واقع، با افزایش سختی میزان چربی لاشه افزایش یافت (P<۰/۰۵).

بیش‌ترین و کم‌ترین میزان خاکستر به ترتیب در تیمار آب سالن با سختی ٦۰۰ mg/L $CaCO_3$ (P<۰/۰۵) و در تیمار ۱۵ گرم کربنات کلسیم در ٦۰ لیتر با سختی ۹۰۰ mg/L $CaCO_3$ برآورد شد (P<۰/۰۵؛ جدول ۵).

جدول ۵- اثر تیمارهای مختلف کربنات کلسیم بر آنالیز لاشه (رطوبت، ماده خشک، چربی، پروتئین و خاکستر) (میانگین ± انحراف معیار) در بچه‌ماهیان سفید (*Rutilus frisii*).

تیمار سختی آب (g $CaCO_3$/60 L)	وزن خشک (درصد)	وزن مرطوب (درصد)	پروتئین (درصد)	چربی (درصد)	خاکستر (درصد)
آب سالن + مقطر	۲۹/۲٤±۳/۹۷^{a}	۷۰/۷۵±۳/۹۷^{a}	٤۹±۰/۰۰^{c}	۲٤/۹۳±۰/۰۱^{a}	۸/۸۲±۰/۲٤^{c}
آب سالن	۳٤/٤۸±۵/۲۰^{a}	٦٦/۵۱±۵/۲۰^{a}	٤۷/۲۵±۲/٤۷^{bc}	۳۷/۵۹±۰/۷۷^{b}	۱٦/۰٦±۰/۰۱^{e}
٦ گرم	۳۱/۷۵±۰/٤۹^{a}	٦۸/۲٤±۰/٤۹^{a}	٤۷/۲۵±۰/٤۹^{bc}	٤۳/۱۰±۱/۲۹^{c}	۷/۹٦±۰/۲۸^{b}
۹ گرم	۳۱/٦۱±۱/۵۳^{a}	٦۸/۳۸±۱/۵۳^{a}	٤۵/۳۲±۰/۲٤^{b}	٤۱/٦۷±۰/۹۹^{c}	۱۰/۷۱±۰/۰٤^{d}
۱۲ گرم	۳۳/۷۲±۸/۱۲^{a}	٦٦/۲۷±۸/۱۲^{a}	٤٦/۷۲±۰/۲٤^{bc}	٤۳/٦٤±۰/۷۷^{c}	۸/٦٤±۰/۰۳^{c}
۱۵ گرم	۳۱/٦٦±۲/۵۷^{a}	٦۸/۳۳±۲/۵۸^{a}	٤۲/۱۷±۰/۲٤^{a}	٤٦/۲۲±۰/۲۹^{d}	۱/۷۵±۰/۰۲^{a}

بر اساس جدول ٦، نتایج آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه با بررسی اثر میزان سختی بر عناصر معدنی لاشه نشان داد که سطوح مختلف سختی اثرات معنی‌داری بر مقادیر سدیم و کلسیم پوست نداشت (P>۰/۰۵). بیش‌ترین میزان سدیم پوست در تیمار آب سالن + آب مقطر با سختی ۳۵۰ mg/L $CaCO_3$ و کم‌ترین میزان در تیمار حاوی ۱۵ گرم کربنات کلسیم با سختی ۹۰۰ mg/L $CaCO_3$ مشاهده شد (P<۰/۰۵). کم‌ترین میزان کلسیم پوست در تیمار آب سالن با سختی ٦۰۰ mg/L $CaCO_3$ و بیش‌ترین میزان کلسیم پوست در تیمار حاوی ۱۲ گرم کربنات کلسیم در ٦۰ لیتر آب با سختی ۸۰۰ mg/L $CaCO_3$ سنجش شد (P<۰/۰۵). بیش‌ترین میزان سدیم و کلسیم گوشت در تیمار حاوی ٦ گرم کربنات کلسیم در ٦۰ لیتر آب با سختی ٦۵۰ mg/L $CaCO_3$ مشاهده شد (P<۰/۰۵).

جدول ٦- اثر تیمارهای مختلف کربنات کلسیم بر میزان سدیم و کلسیم گوشت و پوست (میانگین ± انحراف معیار) در بچه‌ماهیان سفید (*Rutilus frisii*).

تیمار سختی آب ($g\ CaCO_3/60\ L$)	سدیم گوشت	سدیم پوست	کلسیم گوشت	کلسیم پوست
آب سالن + مقطر	٥/٠٣±٠/٦٧^{a}	٧/٢٦±٢/٣٢^{a}	٢٣/٤٧±٣/٤٦^{ab}	٢٥/٢١±٣/٢٩^{a}
آب سالن	٥/٩٦±١/٧٤^{ab}	٥/٨٢±٢/٣٨^{a}	٢٠/٨٥±٠/٠٠^{a}	٢١/٢٨±٨/٠٠^{a}
٦ گرم	٧/٨٩±١/٠٧^{b}	٦,٤٧±١/٢٧^{a}	٣٣/٩٥±٩/١٧^{b}	٢٥/٢١±٧/٥٦^{a}
٩ گرم	٥/٤٧±١/٤٣^{ab}	٥/٨٤±٠/٦١^{a}	٢٧/٤٠±٥/٧^{ab}	٢٦,٥٢±٣/٢٩^{a}
١٢ گرم	٣/٩١±٠/٧١^{a}	٧/٢٢±١/٩٤^{a}	٢٢/١٦±١/٣١١^{a}	٢٧/٨٣±٢/٧٢^{a}
١٥ گرم	٤/٤٧±٢/٣٩^{a}	٤/٥٦±٠/٣٠^{a}	٢٢/٨١±٠/٩٢^{a}	٢٣/٤٧±٢/٢٦^{a}

رشد: جدول ٧ شاخص‌های رشد بچه‌ماهی سفید را طی دوره ٥٦ روزه پرورش نشان می‌دهد. بیش‌ترین میزان وزن نهایی، افزایش وزن بدن، نرخ رشد روزانه در تیمار حاوی ٦ گرم کربنات کلسیم در ٦٠ لیتر آب با سختی ٦٥٠ $mg/L\ CaCO_3$ برآورد شد ($P<٠/٠٥$)، و در همین تیمار حداقل میزان ضریب تبدیل و کم‌ترین میزان غذای خورده شده روزانه مشاهده شد ($P<٠/٠٥$). سطوح مختلف سختی تأثیر معنی‌داری بر میزان نرخ رشد ویژه و درصد بازماندگی ماهی سفید نداشت. درصد بازماندگی ماهی سفید در سختی‌های مختلف ١٠٠ درصد و بدون هیچ گونه تلفاتی در طی دوره بود ($P>٠/٠٥$).

جدول ٧- اثر تیمارهای مختلف کربنات کلسیم بر شاخص‌های رشد (میانگین ± انحراف معیار) بچه‌ماهی سفید (*Rutilus frisii*).

تیمار سختی آب ($g\ CaCO_3/60\ L$)	وزن نهایی (گرم)	افزایش وزن بدن (گرم)	نرخ رشد ویژه (درصد در روز)	نرخ رشد روزانه (گرم در روز)	ضریب تبدیل غذایی	فاکتور وضعیت	غذای خورده شده روزانه (درصد در روز)	بازماندگی (درصد)
آب سالن + مقطر	٣/٤٤±٠/١٣^{a}	١/٤٢±٠/١٣^{a}	٠/٩٤±٠/٠٧^{a}	٠/٠٢٢±٠/٠^{a}	٣/١٢±٠/١٨^{ab}	١/٠٦±٠/٢١^{ab}	٣/٩±٠/١^{ab}	١٠٠±٠/٠^{a}
آب سالن	٣/٣١±٠/١٧^{a}	١/٢٩±٠/١٥^{a}	٠/٨٨±٠/٠٨^{a}	٠/٠٢١±٠/٠^{ab}	٣/٢٦±٠/٣٢^{ab}	١/٠٥±٠/١٥^{ab}	٤/٠±٠/١^{ab}	١٠٠±٠/٠^{a}
٦ گرم	٤/١١±٠/٣٠^{b}	٢/٠٩±٠/٢٨^{b}	١/٢٧±٠/١١^{a}	٠/٠٢٥±٠/٠^{c}	٢/٢٢±٠/٣٣^{a}	١/١٤±٠/٢٦^{b}	٣/٥±٠/١^{a}	١٠٠±٠/٠^{a}
٩ گرم	٣/١٨±٠/٦٢^{a}	١/١٧±٠/٥٧^{a}	٠/٧٩±٠/٢٩^{a}	٠/٠٢٠±٠/٠^{a}	٣/٢٩±٠/٩٩^{ab}	١/٠٢±٠/١٣^{a}	٤/١±٠/٥^{b}	١٠٠±٠/٠^{a}
١٢ گرم	٣/٤٤±٠/٢٣^{a}	١/٣٩±٠/٢٤^{a}	٠/٩٢±٠/١٣^{a}	٠/٠٢٢±٠/٠^{ab}	٣/٣٧±٠/٥٤^{ab}	١/٠٥±٠/١٤^{ab}	٣/٩±٠/١^{ab}	٩٧±٤/٤^{a}
١٥ گرم	٣/٢٧±٠/٢٣^{a}	١/٢٨±٠/٣٥^{a}	١/٠٥±٠/٤٧^{a}	٠/٠٢٠±٠/٠^{a}	٣/٥٧±٠/٨٢^{b}	١/٠٥±٠/١٣^{ab}	٤/٠±٠/٢^{ab}	١٠٠±٠/٠^{a}

پارامترهای خونی بچه‌ماهیان سفید دریای خزر: نتیجه مطالعه حاضر نشان داد تیمارهای مختلف سختی اثر معنی‌داری بر میزان هموگلوبین و گلبول قرمز خون نداشتند ($P>٠/٠٥$). بیش‌ترین میزان گلبول قرمز در تیمار آب سالن + آب مقطر با سختی ٣٥٠ $mg/L\ CaCO_3$ سنجش گردید ($P<٠/٠٥$). بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر هموگلوبین به ترتیب در تیمارهای حاوی ٩ و ١٥ گرم کربنات کلسیم با

سختی‌های ۷۰۰ و ۹۰۰ mg/L $CaCO_3$ برآورد شدند (P<۰/۰۵). از سوی دیگر، تیمارهای مختلف سختی اثر معنی‌داری بر مقادیر هماتوکریت و گلبول سفید داشتند (P<۰/۰۵). بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر گلبول سفید به ترتیب در تیمار حاوی آب سالن + آب مقطر با سختی ۳۵۰ mg/L $CaCO_3$ و تیمار حاوی ۹ گرم کربنات کلسیم در ٦۰ لیتر آب با سختی ۷۰۰ mg/L $CaCO_3$ ثبت شدند (P<۰/۰۵). تیمار آب سالن + آب مقطر با سختی ۳۵۰ mg/L $CaCO_3$ و تیمار حاوی ۹ گرم کربنات کلسیم در ٦۰ لیتر آب با سختی ۷۰۰ mg/L $CaCO_3$ به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر هماتوکریت بودند و با سایر تیمارها اختلافات معنی‌داری داشتند (P<۰/۰۵؛ جدول ۸).

جدول ۸- اثر تیمارهای مختلف کربنات کلسیم بر فراسنجه‌های خونی (میانگین ± انحراف معیار) بچه‌ماهیان سفید (*Rutilus frisii*).

تیمار سختی آب (g $CaCO_3$/60 L)	هماتوکریت (درصد)	هموگلوبین (گرم بر دسی‌لیتر)	گلبول سفید (عدد در میلی‌مترمکعب)	گلبول قرمز (عدد در میلی‌مترمکعب)
آب سالن + مقطر	٦۹/۷۸±۵/۲۹^{b}	۱۰/٤۸±۰/۹۳^{a}	۵۸۰۰±۸٤۸^{b}	۱٦۷۵۰۰۰±۱٤۱٤۲۱^{a}
آب سالن	۵۹/٤۸±۹/٤۷^{b}	۹/٤۷±۰/۳۳^{a}	٤٦۰۰±۸٤۵^{ab}	۱٦٦۲۵۰۰±۵۳۰۳۳^{a}
٦ گرم	٦٦/۵۵±٦/٤۷^{b}	۱۱/۲٤±۲/۹۹^{a}	۳۹۰۰±۱۸۳۸^{ab}	۱٤۲۵۰۰۰±۱۰۹۰٦٦^{a}
۹ گرم	٤۲/۷٦±۵/۰۷^{a}	۱۳/۰٤±۳/۳۵^{a}	۳۱۰۰±۷۰۷^{a}	۱٤۱۲۵۰۰±۲٦۵۱٦۵^{a}
۱۲ گرم	۵۸/۱٤±۸/٦۸^{b}	۸/۰۲±٤/٤۲^{a}	٤۵۰۰±۹۸۹^{ab}	۱۳۸۷۵۰۰±۸۸۳۸۸^{a}
۱۵ گرم	٦۱/۷۵±۱/٤٦^{b}	٦/۱۰±٤/۳۱^{a}	۳۸۲۵±۳۵۵۵^{ab}	۱۳٦۲۵۰۰±۱۵۹۰۹۹^{a}

با افزایش سختی‌های مختلف آب، مقادیر گلوکز و کورتیزول به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند (P<۰/۰۵). کم‌ترین میزان کورتیزول در تیمار آب سالن با سختی ٦۰۰ mg/L $CaCO_3$ (P<۰/۰۵) و بیش‌ترین مقادیر کورتیزول و گلوکز در تیمار حاوی ۱۵ گرم کربنات کلسیم در ٦۰ لیتر آب با سختی ۹۰۰ mg/L $CaCO_3$ مشاهده شد (P<۰/۰۵). کم‌ترین میزان گلوکز در تیمار آب سالن + آب مقطر با سختی ۳۵۰ mg/L $CaCO_3$ برآورد گردید (P<۰/۰۵؛ جدول ۹).

جدول ۹- اثر تیمارهای مختلف کربنات کلسیم بر مقادیر گلوکز و کورتیزول (میانگین ± انحراف معیار) در بچه‌ماهیان سفید (*Rutilus frisii*).

تیمار سختی آب (g $CaCO_3$/60 L)	کورتیزول (نانوگرم در میلی‌لیتر)	گلوکز (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)
آب سالن+ آب مقطر	۱۰/۸±۲/۲^{a}	۸۲/۵±۲/۱۲^{a}
آب سالن	۹/۱±۱/۷^{a}	۸۸±۲/۸۲^{ab}
٦ گرم	۱۰/۷٦±۲/۵۳^{a}	۹۵±۵/٦۵^{b}
۹ گرم	۱۳/۳±۲/۸^{b}	۱۱٦±۲/۸۲^{c}
۱۲ گرم	۱۵/۹٦±۳/۰۷^{b}	۱۲۱±۱/٤۱^{c}
۱۵ گرم	۱۸/٦۲±۳/٤^{c}	۱۳٤/۵±٦/۳٦^{d}

جدول ۱۰- اثر تیمارهای مختلف کربنات کلسیم بر شمارش افتراقی گلبول سفید (میانگین ± انحراف معیار) بچه‌ماهیان سفید (*Rutilus frisii*).

سختی آب (g $CaCO_3$/60 L)	لنفوسیت	مونوسیت	نوتروفیل	بازوفیل	ائوزنوفیل
آب سالن + مقطر	۷۱/۱۰±۰/۱٤ ^{c}	۱٤/۹۰±۰/۱٤ ^{c}	۱۱/۱۰±۰/۱٤ ^{d}	۱/۲۵±۰/۳۵ ^{a}	۱/۲۵±۰/۳۵ ^{a}
آب سالن	٦٦/۱۵±۰/۲۱^{a}	۱۹/۰۰±۰/۲۸^{e}	۱۱/۲۵±۰/۰۷^{d}	۱/٦۵±۰/۲۱ ^{abc}	۱/٦۵±۰/۲۱ ^{abc}
٦ گرم	۷۱/۲۱±۰/۲۹ ^{c}	۱٤/۳۹±۰/۱۵ ^{c}	۱۰/۸۰±۰/۱٤ ^{cd}	۱/٦٤±۰/۱۹ ^{abc}	۱/٦٤±۰/۱۹ ^{abc}
۹ گرم	٦۹/٤۵±۰/۷۷ ^{b}	۱۷/۳۷±۰/۱۸ ^{d}	۱۰/٤۵±۰/۲۱ ^{c}	۱/٦۰±۰/۱٦ ^{ab}	۱/٦۰±۰/۱٦ ^{ab}
۱۲ گرم	۷٤/۵±۰/۷۰ ^{d}	۱۰/۲۵±۰/۳۵ ^{b}	۹/۸۰±۰/۲۸ ^{b}	۲/۲۵±۰/۳۵ ^{bc}	۲/۲۵±۰/۳۵ ^{bc}
۱۵ گرم	۷۷/٤۵±۰/۷۷ ^{e}	۷/٦۹±۰/۲۷ ^{a}	۷/٦۹±۰/۲۷ ^{a}	۲/۳٦±۰/۳۷ ^{c}	۲/۳٦±۰/۳۷ ^{c}

با افزایش سختی مطالعه حاضر، مقادیر بازوفیل و ائوزنوفیل روند افزایشی داشت (P<۰/۰۵). بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر بازوفیل و ائوزنوفیل به ترتیب در تیمارهای حاوی ۱۵ گرم کربنات کلسیم و آب سالن + آب مقطر با سختی‌های ۹۰۰ و ۳۵۰ mg/L $CaCO_3$ ثبت شدند (P<۰/۰۵). بیش‌ترین و کم‌ترین سطوح لنفوسیت به‌ترتیب در تیمارهای حاوی ۱۵ گرم کربنات کلسیم و آب سالن با سختی‌های ۹۰۰ و ٦۰۰ mg/L $CaCO_3$ مشاهده شدند. تیمارهای حاوی ۱۵ گرم کربنات کلسیم و آب سالن با سختی‌های ۹۰۰ و ٦۰۰ mg/L $CaCO_3$ به ترتیب دارای کم‌ترین و بیش‌ترین تعداد مونوسیت بودند. بیش‌ترین میزان نوتروفیل در تیمارهای آب سالن با سختی ٦۰۰ mg/L $CaCO_3$ و آب سالن + آب مقطر با سختی ۳۵۰ mg/L $CaCO_3$ به‌دست آمد (P<۰/۰۵؛ جدول ۱۰).

بحث

تأثیر سختی بر فاکتورهای رشد: سختی آب یکی از عوامل مهم در پرورش خانواده آزادماهیان محسوب می‌گردد. میزان سختی کل در دوره پرورش ماهی قزل‌آلا از ۲٤۵ تا ۲٦۲ mg/L $CaCO_3$ تعیین گردید (۱٤). این میزان سختی آب علاوه بر این‌که در دامنه مجاز سختی مورد نیاز برای رشد ماهی قزل‌آلا (۱۰-٤۰۰ mg/L $CaCO_3$) قرار داشت، اثر احتمالی سمیت برخی یون‌ها اعم از مس و روی که می‌توانند از طریق آبشش به ماهی وارد شوند را نیز کم‌تر کرد. این ویژگی آب در آب‌های با سطوح سختی بیش از ۲۰۰ mg/L $CaCO_3$ وجود دارد (۱٤ و ۲۵). در مطالعه حاضر با افزایش سختی (۹۰۰،۸۰۰،۷۰۰ mg/L $CaCO_3$) عملکرد رشد روند نزولی نشان داد ولی در تیمار حاوی ٦ گرم کربنات کلسیم با سختی ٦۵۰ mg/L $CaCO_3$ رشد روند صعودی داشت. برای دستیابی به رشد بهینه در ماهیان آب شیرین میزان سختی باید بیش از ۲۰ mg/L $CaCO_3$ باشد (۲٦). برعکس، سختی آب در سیستم‌های آب شور مهم نیست زیرا غلظت کلسیم در این سیستم‌ها معمولاً بسیار زیاد است (۲۷). سختی آب برای رشد لارو گربه‌ماهی نقره‌ای بین ۲۵-۵۰ mg/L $CaCO_3$ بود (۲۸). بهترین میزان رشد و زنده‌مانی لارو گربه‌ماهی نقره‌ای در سختی ۷۰ mg/L $CaCO_3$ گزارش شد (۲۹). بهبود قابل‌توجه در رشد ماهی تیلاپیای نیل با افزایش سختی از ۵۵ تا ۱۵۰ mg/L $CaCO_3$ به‌دست آمد (۳۰). در مطالعه حاضر، میزان رشد ماهی سفید

با افزایش سختی از ۳۵۰ تا ٦۵۰ mg/L $CaCO_3$ افزایش یافت اما افزایش بیش از حد سختی از ۹۰۰ mg/L $CaCO_3$ منجر به کاهش معنی‌داری در میزان رشد ماهی سفید گردید. بیش‌تر ماهیان آب شیرین رشد بهتری را در سختی ۲۰ mg/L $CaCO_3$ که غذای کافی در دسترس باشد دارند (۳۱). ماهیان در دامنه گسترده‌ای از سختی از ۱۲۰ تا ٤۰۰ mg/L $CaCO_3$ رشد بهینه‌ای داشتند (۳۲).

در مطالعه حاضر میزان سختی مطلوب ٦۵۰ mg/L $CaCO_3$ برای رشد بچه‌ماهیان سفید به‌دست آمد. بررسی تأثیر سختی آب بر رشد و نمو اسکلتی ماهی قنات سر چرب (Fathead minnow) نشان داد که ماهیانی که در کلسیم بالا (سختی ۱۷۵ mg/L $CaCO_3$) پرورش داده شدند به صورت معنی‌داری دارای رشد بالاتری بودند اما زمانی که در سختی پایین پرورش یافتند توده بدنی پایین‌تری داشتند (۳۳). مطالعه دیگری روی اثرات سطوح پائین و بالای سختی و قلیائیت آب (کلسیم و منیزیم) در مراحل اولیه رشد ماهی قزل‌آلا[1] نشان داد که تیمار با سختی کلسیمی و قلیائیت بالا (۵۰ ppm $CaCO_3$) دارای نرخ رشد بالا به همراه مرگ و میر کم بود (۳٤).

در سختی کم‌تر از ۵۰ mg/L $CaCO_3$، میزان رشد و زنده‌مانی ماهی Red swamp crawfish خیلی ضعیف بود و حداقل غلظت برای بهترین رشد، سختی بین ۵۰ تا ۱۰۰ mg/L $CaCO_3$ بیان شد (۳۵). بالاترین رشد در ماهیان انگشت قد تیلاپیا (۰/۸ گرم) در قلیائیت کل بیش از ۵۰ mg/L $CaCO_3$ و سختی بیش‌تر از ۱٤۰ mg/L $CaCO_3$ برآورد شد (۳٦). در مطالعه‌ای دیگر (۳۷)، سختی کل تأثیری بر میزان رشد ماهی تیلاپیا نیل نداشت. Ca^{2+} در ماهی تیلاپیای نیل به جهت تعادل ارتباط بین سختی و قلیائیت آب اهمیت دارد (۱۵) که با نتایج این پژوهش همخوانی ندارد زیرا درصد بازماندگی بچه‌ماهیان سفید در سختی‌های مختلف ۱۰۰ درصد بود و هیچ‌گونه تلفاتی طی دوره مشاهده نشد (جدول ۷).

بیش‌ترین رشد و بازماندگی لارو گربه‌ماهی نقره‌ای (*R. quelen*) در غلظت‌های مختلف کلسیم و منیزیم در آب با درجه سختی ۷۰ mg/L $CaCO_3$ با استفاده از مقدار ۲۰/۲٦ میلی‌گرم در لیتر Mg^{2+} در ۷۰ mg/L $CaCO_3$ مشاهده گردید (۳۸). افزایش سختی (با افزودن Ca^{2+}) از ٦ تا ٥٤ mg/L $CaCO_3$ سبب کاهش مرگ و میر (تلفات) ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان از ۵۰ تا ۱۱ شد که در معرض پی اچ ٤ تا ٤/۵ بودند (۳۹).

بهترین درصد تفریخ ماهی آنجل در ۲۵۰ mg/L $CaCO_3$ مشاهده گردید (٤۰). میزان زنده‌مانی و رشد لارو گربه‌ماهی کانالی با افزایش سختی آب تا ۱۰۰ mg/L $CaCO_3$ افزایش یافت (٤۱) اما در مطالعه حاضر بالاترین میزان رشد ماهی سفید در سختی ٦۵۰ mg/L $CaCO_3$ مشاهده گردید. مناسب‌ترین سختی آب را در حدود ۱۲۰ mg/L $CaCO_3$ برای گربه‌ماهی نقره‌ای بیان گردید (٤۲). بررسی تأثیر سختی کل و نسبت کلسیم: منیزیم آب در مراحل اولیه رشد ماهی قنات (*Gobiocypris rarus*) نشان داد که نسبت کلسیم: منیزیم آب کم‌تر از ۱:۲۰ یا بیش‌تر از ۸:۱ اثرات منفی بازماندگی لاروها داشت (٤۳) که با نتایج حاضر در تیمار مطلوب (٦ گرم کربنات کلسیم) همخوانی ندارند. مقادیر سختی بالاتر از ۳۰۰ ppm و کم‌تر از ۲۰ ppm برای زندگی ماهیان کشنده بود (٤٤) اما در مطالعه حاضر، با افزایش میزان سختی آب با افزودن میزان کربنات کلسیم به آب مرگ و میری مشاهده نگردید و ماهیان در سختی ۹۰۰ mg/L $CaCO_3$ زنده ماندند.

سختی آب را می‌توان به مجموع کاتیون‌های دو ظرفیتی تعمیم داد. سختی آب ممکن است موجب

1- *Salvelinus fontinalis*

ایجاد پاسخ‌های استرس اکسیداتیو شود (٤٥) و می‌تواند دسترسی فراهمی زیستی و در نتیجه سمیت فلزات را با کاهش سختی افزایش دهد (٤٦). علاوه بر کاهش سمیت برخی از یون‌ها، ریسک بیمارشدن آزاد ماهیان نیز در سطوح سختی از ٢٤٥ تا ٢٦٢ mg/L $CaCO_3$ در آب کاهش یافت (١٤).

پارامترهای کیفی آب: در تولید و پرورش ماهی سفید، کیفیت آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر (٤٧) برای پرورش ماهیان مختلف دارای تعاریف متفاوتی است. پرورش یک ماهی در محیطی که روند رشد آن را با نقصان مواجه نکند و از کیفیت گوشت آن نکاهد، به‌نوعی آب مورد استفاده به‌عنوان آب با کیفیت برای پرورش آن ماهی تلقی می‌گردد. pH آب تأثیر مستقیمی روی رشد ماهی و سایر آبزیان دارد (٤٨). محدوده مناسب pH برای پرورش ماهی بین ٦/٧ تا ٩/٥ و محدوده ایده آل ٧/٥ تا ٨/٥ و بالاتر یا پایین‌تر از آن برای ماهی‌ها استرس‌زا بیان شده است (٤٩). بیش‌ترین میزان pH (٨/١ ± ٠/١) در تیمار آبگیری شده با آب سالن با سختی ٦٠٠ mg/L $CaCO_3$ مشاهده شد که نشان‌دهنده وجود شرایط استرس‌زا برای ماهی است و باعث کاهش رشد می‌شود. هم جهت با pH، سطوح دیگر فاکتورهای کیفی آب یعنی اکسیژن محلول، آمونیاک، و نیترات مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه، مقدار اکسیژن ثابت بود و بیش‌ترین مقادیر نیترات و آمونیاک آب در سطوح سختی بالا مشاهده شد که رشد ماهی را کاهش داد (جدول ٤).

تأثیر سختی بر تغذیه: ماهی سفید از نظر رژیم غذائی جزء ماهیان همه‌چیزخوار است ولی برخلاف سایر ماهیان همه‌چیزخوار به دلیل کوتاه بودن طول روده دارای طیف غذایی محدودی است. در این پژوهش، با افزایش سختی ضریب تبدیل غذایی افزایش و کاهش یافت؛ در نتیجه، وزن نهایی در تیمار حاوی ٦ گرم کربنات کلسیم در ٦٠ لیتر آب با سختی ٦٥٠ mg/L $CaCO_3$ افزایش و در سایر تیمارها وزن نهایی کاهش پیدا کرد. بنابراین، طول دوره پرورش با کاهش وزن بیش‌تر می‌شود و باعث ضرر اقتصادی به پرورش‌دهندگان می‌گردد. طبق مطالعات پیشین (١٥)، نسبت سختی کلسیمی به قلیائیت کل ٥ به ١، سختی کلسیمی ٥٠٠-٢٥٠ mg/L $CaCO_3$ و قلیائیت کل ١٠٠-٥٠ mg/L $CaCO_3$ اثرات منفی بر رشد و کارایی غذا داشتند که با این مطالعه همخوانی دارد. در نتیجه، ماهی در سختی ٦٥٠ mg/L $CaCO_3$ از رشد و وزن نهایی بالایی برخوردار است و این دامنه از سختی برای پرورش ماهی سفید پیشنهاد می‌شود.

تأثیر سختی بر شمارش افتراقی گلبول سفید: تقویت سیستم ایمنی ذاتی یا غیراختصاصی برای ماهیان پرورشی بسیار دارای اهمیت است، چرا که ماهی‌ها تحت شرایط پرورشی در برابر بسیاری از عوامل باکتریایی فرصت‌طلب و دیگر استرس‌ها آسیب‌پذیر هستند. هم‌چنین بیماری‌زایی یک عامل بیماریزای مهاجم به قابلیت سیستم ایمنی میزبان برای مبارزه با آن بستگی دارد (٥٠). بر اساس نتایج به‌دست آمده، با مطالعه درصد مونوسیت‌های خون در سختی‌های مختلف، بیش‌ترین درصد این فاکتور در تیمار آب سالن با سختی ٦٠٠ mg/L $CaCO_3$ و کم‌ترین میزان آن در تیمار حاوی ١٥ گرم کربنات کلسیم با سختی ٩٠٠ mg/L $CaCO_3$ مشاهده شد که دارای اختلاف معنی‌دار بود. با افزایش سختی میزان بازوفیل و ائوزنوفیل افزایش یافت (جدول ١٠).

تأثیر سختی بر فراسنجه‌های خونی: ویژگی‌های هماتولوژی می‌تواند شاخصی برای شرایط طبیعی و غیرطبیعی محیط زیست ماهی‌ها محسوب شود و در گونه‌های مختلف ماهی‌ها می‌تواند به عنوان یک

شاخص مهم ماهی‌شناسی مورد توجه قرار گیرد (۵۱). بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که فاکتورهای خونی ماهی تحت‌تأثیر عواملی مانند سن و وزن ماهی، رسیدگی جنسی، فصول مختلف، استرس‌ها و بیماری‌ها دچار تغییر می‌گردند (۵۲). استرس در ماهی ممکن است ناشی از فاکتورهای زیست‌محیطی مختلف مانند تغییر در دمای آب، pH، سختی بالا، غلظت اکسیژن و آلاینده‌های آب از جمله فلزات سنگین باشد (۵۳). واکنش به استرس شامل تغییرات فیزیولوژیک مختلف از جمله تغییر در ترکیب خون و مکانیزم‌های ایمنی بدن است. استرس هم‌چنین موجب تغییراتی در فعالیت‌ها و تعداد سلول‌های خون می‌شود (٥٤). خون‌شناسی اغلب برای تعیین تغییرات فیزیولوژیک ناشی از شرایط استرس از جمله قرار گرفتن در معرض فلزات استفاده می‌شود. سختی آب به تنهایی همراه با ترکیب فلز در پاسخ به آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تأثیر داشت که احتمالاً به دلیل تأثیر بر فیزیولوژی ماهی بود (٤٥). در سختی بالای آب، Ca^{2+} نفوذپذیری آبشش و هزینه تنظیم اسمزی در ماهیان را کاهش می‌دهد (۵۵). در مطالعه حاضر، فراسنجه‌های خونی گلبول سفید و هموگلوبین، هماتوکریت و گلبول قرمز با افزایش سختی کاهش یافتند و بیش‌ترین میزان هموگلوبین خون در تیمار حاوی ۹ گرم کربنات کلسیم یافت شد. هم‌چنین با افزایش سختی میزان هماتوکریت کاهش یافت که این پدیده را مرتبط با همولیز گلبول‌ها دانسته‌اند (٥٦). بیش‌ترین مقادیر گلبول سفید و گلبول قرمز در تیمار آب سالن + آب مقطر مشاهده شده و هم‌چنین هماتوکریت در تیمار آب سالن + آب مقطر بالاتر بود که احتمالاً به خاطر حضور بیش‌تر گلبول‌های قرمز بالغ نسبت به سایر تیمارها باشد. از سوی دیگر، در گروه دیگری از ماهیان تغییرات معنی‌دار هماتوکریت در رابطه با شوری‌های مختلف مشاهده شد (۵۷). میزان هموگلوبین و تعداد گلبول‌های قرمز نیز با شوری تغییر پیدا می‌کند (جدول ۸) به طوری که در بعضی از ماهیان افزایش شوری با افزایش این پارامترها همراه است (۵۸).

تأثیر سختی بر گلوکز و کورتیزول: بر اساس نتایج مطالعه حاضر، مقادیر گلوکز و کورتیزول با افزایش سختی بالا رفت و بیش‌ترین میزان گلوکز در تیمار حاوی ۱۵ گرم کربنات کلسیم با سختی ۹۰۰ $mg/L\ CaCO_3$ و کم‌ترین میزان آن در تیمار آب سالن + آب مقطر با سختی ۳۵۰ $mg/L\ CaCO_3$ ثبت شد. بیش‌ترین میزان کورتیزول در تیمار حاوی ۱۵ گرم کربنات کلسیم با سختی ۹۰۰ $mg/L\ CaCO_3$ و کم‌ترین میزان آن در تیمار آب سالن با سختی ۳۵۰ $mg/L\ CaCO_3$ مشاهده شد. با افزایش گلوکز خون، فشار اسمزی خارج سلول هم افزایش می‌یابد و با به‌هم‌خوردن قدرت انتقال غشای سیتوپلاسمی در درازمدت، موجب آسیب بسیاری از بافت‌ها و به‌ویژه رگ‌های خونی آن‌ها می‌گردد (۵۹) (جدول ۹).

تأثیر سختی آب بر آنالیز لاشه: اگرچه ترکیب شیمیایی بدن همواره تحت‌تأثیر ترکیب جیره غذایی و حتی درصد و مقدار غذادهی روزانه است (٦۰ و ٦۱)، مقادیر نامناسب پارامترهای کیفی آب با ایجاد استرس می‌توانند روی این ویژگی ماهی اثر بگذارند. در پژوهش حاضر، آنالیز تقریبی لاشه بچه‌ماهیان سفید دریای خزر نشان داد که رطوبت لاشه تحت‌تأثیر سختی بالا قرار نگرفت ولی مقادیر پروتئین، چربی و خاکستر تحت‌تأثیر قرار گرفتند (جدول ٤). در مطالعه حاضر، بیش‌ترین میزان پروتئین در تیمار با سختی ۳۵۰ $mg/L\ CaCO_3$ (آب سالن + آب مقطر) مشاهده شد. چربی منبع عمده انرژی در اغلب ماهیان است. بیش‌ترین میزان چربی لاشه در مطالعه حاضر در تیمار با سختی ۹۰۰ $mg/L\ CaCO_3$ (۱۵ گرم در ٦۰ لیتر کربنات کلسیم) مشاهده شد (جدول ۵). نتایج آنالیز

لاشه نشان داد که در سختی‌های بالا، پروتئین لاشه کاهش و میزان چربی افزایش یافت. در تیمارهای آب سالن + آب مقطر و آب سالن با سختی ۶۰۰ mg/L $CaCO_3$ به‌ترتیب بیش‌ترین مقادیر وزن مرطوب و وزن خشک برآورد شدند. بیش‌ترین میزان خاکستر در تیمار حاوی آب سالن با سختی ۶۰۰ mg/L $CaCO_3$ به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری

ماهی سفید یکی از با ارزش‌ترین ماهیان تجاری ایران است که به ویژه در قسمت جنوبی دریای خزر پراکنش دارد. در بسیاری از پژوهش‌های گذشته، شرایط پرورشی برای ماهی سفید تا حدودی نزدیک به شرایط پرورشی ماهی کپور و سایر گونه‌های خانواده کپور ماهیان تعریف شده است، در صورتی که ماهی سفید در زیستگاهی (دریای خزر) زیست می‌نماید که ماهی آزاد دریای خزر و ماهیان خاویاری در این دریا زندگی می نمایند. بنابراین تعریف شرایط زیستی برای ماهی سفید تا حدودی باید نزدیک شرایط زیستی آزاد ماهیان یا ماهیان خاویاری باشد و پیشنهاد شرایط پرورشی کپورماهیان برای پرورش ماهی سفید نمی‌تواند قابل‌قبول باشد. هم‌چنین دامنه تحمل ماهی سفید به‌عنوان یک ماهی مهاجر رودکوچ (همانند ماهیان خاویاری و آزادماهیان) قابل‌توجه است و می‌تواند به‌عنوان گزینه جدی برای پرورش پرواری مطرح شود. طبق نتایج پژوهش حاضر، میزان رشد ماهی سفید خزر با افزایش سختی از ۳۵۰ تا ۶۵۰ mg/L $CaCO_3$ افزایش و با سختی بیش‌تر آب، کاهش یافت. فراسنجه‌های خونی گلبول سفید، هموگلوبین، هماتوکریت و گلبول قرمز با افزایش سختی (۶۰۰< mg/L $CaCO_3$) کاهش یافتند. این ماهی در شرایط حاوی ۶ گرم کربنات کلسیم با سختی ۶۵۰ mg/L $CaCO_3$ در ۶۰ لیتر آب دارای ایمنی، ترکیبات لاشه و رشد بهتری نسبت به سختی‌های بالاتر بود. از این یافته‌ها می‌توان در طرح‌های معرفی این گونه جهت آبزی‌پروری بهره‌برداری کرد.

منابع

1. Bagheri, D., Mojazi Amiri, B., and Mohseni, M. 2009. The effect of temperature and salinity changes on oxygen consumption, body water content, and daily growth rate of *Cyprinus carpio*. Fisheries (Iranian natural resources). 62: 1. 21-30. (Translated in Persian)
2. Sim, F.S. 2008. Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. Ecological Indicators. 8: 5. 476-484.
3. Stigebrandt, A., Aure, J., Ervik, A., and Hansen, P.K. 2004. Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming: III. A model for estimation of the holding capacity in the Modelling–Ongrowing fish farm–Monitoring system. Aquaculture. 234: 1-4. 239-261.
4. Sargaonkar, A., and Deshpande, V., 2003. Development of an overall index of pollution for surface water based on a general classification scheme in Indian context. Environmental Monitoring and Assessment. 89: 1. 43-67.
5. McEnroe, M., and Cech, J., 1985. Osmoregulation in juvenile and adult white sturgeon, *Acipenser transmontanuos*. Environmental Biology of Fishes. 14: 23-30.
6. Huet, M. 2000. Text book of Fish culture. Fishing News Books Ltd, pp. 175-176.
7. Mohammadi-Makvandi, Z., Kochin, P., and Zanosi, P. 2012. The effects of salinity on levels of hemogolobin and hematocrit of sliver carp fingerling (*Hypophthalmichthys molitrix*). Journal of Wetland Ecobiology. 7: 11-17. (Translated in Persian)

8. Usman, D. 2015. Physicochemical analysis and fish pond conservation in Kano State, Nigeria. Archives of Applied Sience Research. 7: 6. 28-34.
9. Vasque, O. 1989. Growth Response of *Macrobrachiurn rosenbergii* to Different Levels of Hardness. Journal of the World Aquaculture Society. 20: 2. 90-92.
10. Bijvelds, M.J.C., Kolar, Z.I., and Flik, G. 2001. Electrodiffusive magnesium transport across the intestinal brush border membrane of tilapia (*Oreochromis mossambicus*). Euroupean Journal of Biochemistry. 268: 2867-2872.
11. Naddy, R.B., Stubblefield, W.A., May, J.R., Tucker, S.A., and Russell, H. 2002. The effect of calcium and magnesium ratios on the toxicity of copper to five aquatic species in freshwater. Environmental Toxicology and Chemistry. 2: 347-352.
12. Roy, L.A., Davis, D.A., Saoud, I.P., and Henry R.P. 2007. Effects of varying levels of aqueous potassium and magnesium on survival, growth, and respiration of the Pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei), reared in low salinity waters. Journal of Aquaculture, 262: 461-469.
13. Sharifian, M., Hosseinzadeh Sahafi H., and Hafezieh, M. 2018. Management of preparation of carp ponds. A publication of agricultural education. 78p. (Translated in Persian)
14. Wedemeyer, G.A. 1996. Physiology of Fish in Intensive Culture Systems. Chapman and Hall, New York.
15. Cavalcante, D.H., Caldini, N.N., Saldanha da Silva, J.L., Saldanha da Silva, F.R., and Carmo e Sá, M.V. 2014. Imbalances in the hardness/alkalinity ratio of water and Nile tilapia's growth performance. Acta Scientiarum. 36: 1. 49-54.
16. Mahmoudi, Z., Allaf Noveirian, H., Falahatkar, B., and Khoshkholq, M. 2013. The effect of different levels of protein and dietary fat on the growth performance of juvenile Caspian Kutum (*Rutilus frisii kutum* Kamensky, 1901) in the Caspian Sea. Iranian Journal of Fisheries. 22: 1. 101-116.
17. Tacon, A.G. 1990. Standard Methods for the Nutrition and Feeding of Farmed Fish and Shrimp. Nutrients Sources and Composition. 2. Argent Laboratories Press, Washington, 129p.
18. Hevroy, E.M., Espe, M., Waagbo, R., Sandness, K., Rund, M., and Hemre, G. 2005. Nutrition utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed increased level of fish protein hydrolyses during a period of fast growth. Aquaculture Nutrition. 11: 301-313.
19. De Silva, S.S., and Anderson, T.A. 1995. Fish nutrition in aquaculture. Chapman & Hall, London, 319p.
20. Xue, B., Yan, T., Ferris, C.P., and Mayne, C.S. 2011. Milk production and energetic efficiency of Holstein and Jersey-Holstein cross-bred dairy cows offered diets containing grass silage. Journal of Dairy Science. 94: 1455-1464.
21. Ai, Q.H., and Xie, X.J. 2006. Effects of dietary soybean protein levels on metabolic response of the southern catfish, Silurus meridionalis. Comparative Biochemistry and Physiology, 144: 41-47.
22. AOAC (Association of Official Analytical Chemists) 1995. Official methods of analysis of the Association Official Analytical Chemists. 16th edition. AOAC, Inc., Arlington, Virginia, USA.
23. Natt, M.P., and Herrick, C.A. 1952. A new blood diluent for counting the erythrocytes and leucocytes of the chicken. Poultry Science. 31: 4. 735-738. doi: 10.3382/ps.0310735.
24. Drobkin, D.R. 1945. Crystallographic and optical properties of human hemoglobin: proposal for standardization of hemoglobin. American Journal of Medical Sciences. 209: 268-270.
25. Barton, B.A. 1996. General biology of salmonids. In, Pennel, W., and Barton, B.A. (eds), Principles of Salmonid Culture. Elsevier, Amsterdam. pp. 29-96.
26. Boyd, C.E. 1979. Water quality in warmwater fish ponds. Auburn: Auburn University.
27. Portz, D.E., Woodley, C.M., and Cech-Jr, J.J. 2006. Stress-associated impacts of short-term holding on fishes. Reviews in Fish Biology and Fisheries. 16: 2. 125-170.

28.Eduardo Copatti, C.E., Garcia, L., Kochhann, D., Cunha, M.A., Becker, A.G., B., and Baldisserotto, B. 2011. Low water hardness and pH affect growth and survival of silver catfish juveniles. Ciência Rural, Santa Maria. 41: 8. 1482-1487.

29.Flores da Silva, L., Golombieski, J., and Baldisserotto, B. 2005. Growth and urvival of silver catfish larvae, *Rhamdia quelen* (Heptapteridae), at different calcium and magnesium concentrations. Neotropical Ichthyology. 2: 299-304.

30.Cavalcante, D.H., Silva, S.R., Pinheiro, P.D., Akao, M.M.F., and Sá, M.V.C. 2012. Single or paired increase of total alkalinity and hardness of water for cultivation of Nile tilapia juveniles, *Oreochromis niloticus*. Acta Sci. Technol. 32: 2. 177-183.

31.Stickney, R.R. 1979. Principles of Warm Water Aquaculture. New York: Wiley International Science.

32.Piper, R.G., McElwain, I.B., Orme, L.E., McCraren, J.P., Fowler, L.G., et al. 1982. Fish Hatchery Management. US *Fish* and Wildlife Service, Washington DC.

33.Blanksma, C., Eguia, B., Lott, K., Lazorchak, J.M., Smith, M.E., Wratschko, M., Dawson, T.D., Elonen, C., Kahl, M., and Schoenfuss, H.L. 2009. Effects of water hardness on skeletal development and growth in juvenile fathead minnows. Auaculture. 286: 226-232.

34.Teears, T., Benzing, T., Baedke, S., Downey, D., May, C.L., and Wilke, N. 2015. The Effects of Water Hardness and Alkalinity on the Development of Brook Trout (*Salvelinus fontinali*s) eggs and fry in Aquaculture. Annual Conference Meeting of the Ecological Society of America, At Baltimore.

35.De la Bretonne, L.W., Jr., Avault, J.W., Jr., and Smitherman, R.O. 1969. Effects of soil and water hardness on survival and growth of the red swamp crawfish, *Procambarus clarkii*, in plastic pools. Proceedings of the 23rd Annual Conference, Southeastern Association of Game and Fish Commissioners. 23: 626-633.

36.Cavalcante, D.H., Poliato, A.S., Ribeiro, D.C., Magalhães, F.B., and SÁ, M.V.C. 2009. Effects of $CaCO_3$ liming on water quality and growth performance of fingerlings of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Acta Scientiarum. Animal Sciences. 31: 3. 327-333.

37.Martins, G., Tarouco, F., Rosa, C., and Robaldo, R. 2017. The utilization of sodium bicarbonate, calcium carbonate or hydroxide in biofloc system: water quality, growth performance and oxidative stress of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) Aquaculture. 468: 10-17.

38.Golombieski, J.I., and Baldisserotto, B. 2005. Growth and survival of silver catfishlarvae (*Rhamdia quelen*) (hepataeridae) at different calcium and magnesium concentration. Journal of Neotropical Ichthyology. pp. 99-304.

39.McDonald, D.G., Hôbe, H., and Wood, C.M. 1980. The influence of calcium on the physiological responses of rainbow trout, *Salmo gairdneri*, to low environmental pH. Journal of Experimental Biology. 88: 109-131.

40.Kasiri, M., Sodagar, M., and Hosseini, A. 2011. The effect of water hardness on egg hatching and survival of *Pterophyllum scalare* larvae. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Faculty of Fisheries and Environment. (Translated in Persian)

41.Tucker, C.S., and Steeby, J.A. 1993. A practical calcium hardness criterion for channel catfish hatchery water supplies. Journal of the World Aquaculture Society. 24: 3. 396-401.

42.Garcia, L., Becker, A., Cunha, M., and Baldisserotto, M. 2011. Effects of Water pH and Hardness on Infection of Silver Catfish, *Rhamdia quelen*, Fingerlings by *Ichthyophthirius multifiliis*. Journal of the World Aquaculture Society. 42: 3. 399-405.

43.Luo, S., Wu, B., Xiong, X., and Wang, J. 2016. Effects of Total Hardness and Calcium: the Magnesium Ratio of Water during Early Stages of Rare Minnows (*Gobiocypris rarus*). Journal of Complementary Medicine. 66: 3. 181-187.

44.Bhatnagar, A., Jana, S.N., Garg, S.K. Patra, B.C., Singh, G., and Barman, U.K. 2004. Water quality management in aquaculture, In: Course Manual of summerschool on development of sustainable aquaculture technology in fresh and saline waters, CCS Haryana Agricultural, Hisar (India). pp. 203-210.
45.Saglam, D., Atli, G., Dogan, Z., Baysoy, E., Gurler, C., Eroglu, A., and Canli, M. 2014. The response of the Antioxidant System of Freshwater Fish (*Oreochromis niloticus*) Exposed to Metals (Cd and Cu) in Differing Hardness. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 14*:* 43-52.
46.Heath, A.G. 1987. Water Pollution and Fish PHysiology. CRC Press, Florida, USA.
47.Emadi, H. 2005. Guide to reproduction and culture of rainbow trout and salmon, a publication of the Technical Institute of Fish Breeding, 86p. (Translated in Persian)
48.Boyd, C.E., and Tucker, C.S. 1998. Pond aquaculture water quality management. Norwell MA: Kluwer.
49.Santhose, B., and Singh, N.P. 2007. Guidelines for Water Quality Management for Fish Culture in Tripura, ICAR Research Complex for NEH Region, Tripura Center, Publication No. 29.
50.Dixon, B., and Stet, R.J.M. 2001. The relationship between major histocompatibility receptors and innate immunity in teleost fish. Developmental and Comparative Immunology. 25: 8-9. 683-699.
51.Hued, A., and Bistoni, M.A. 2002. Effects of water quality variations on fish communities in the Central Part of Argentina, South America. Proceeding of the International Association of Theoretical and Applied Limnology. 28: 112-116.
52.Hrubec, T.C., Smith, S.A., and Robertson, J.L. 2001. Age related in haematology and chemistry values of hybrid striped bass chrysops *Morone saxatilis*. Veterinary Clinical Pathology. 30: 8-15.
53.Lebelo, S.L., Saunders, D.K., and Crawford, T.G. 2001. Observations on the blood viscosity in striped bass, *Morone saxatilis* (Walbaum), associated with fish hatchery conditions. Transaction of the Kansas Academy of Science. 104: 3/4. 183-194.
54.Kandeepan, P. 2014. Effect of Stress on Haematological Parameters of Air-Breathing Loach *Lepidocephalus thermalis*. International Journal of Current Research and Academic Review. 2: 8. 309-322.
55.Wood, C.M. 2001. Toxic responses of the gill. 1-89. In: Schlenck D. & W. H. Benson (Ed.), Target Organ Toxicity in Marine and Freshwater Teleosts. New York, Taylor & Francis. 372p.
56.Ziegeweid, J.R., and Black, M.C. 2010. Hematocrit and plasma osmolality values of young-of-year shortnose sturgeon following acute exposures to combinations of salinity and temperature. Fish Physiology and Biochemistry. 36: 963-968.
57.Mohammadi Makvandi, Z., Kuchenin, P., and Pasha Zanussi, H. 2011. Evaluation of the effects of salinity on hemoglobin and hematocrit of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fingerlings. Journal of Wetlands, Islamic Azad University, Ahvaz Branch. 2: 7. 11-17. (Translated in Persian)
58.Salati, A.M., Baghbanzadeh, A., Sultani, M., Peyghan, R., and Riazi, G.H. 2010. Responses of plasma hematological and metabolic parameters to different salinity levels in common carp (*Cyprinus carpio*). International Journal of Veterinary Research. 4: 1. 49-52.
59.Halver, J.E., and Hardy, R.W. 2002. Fish nutrition. Academic Press. 602-641. 61: 263-265.
60.Hung, S.S.O., Lutes, P.B., and Conte, F.S. 1987. Carcass proximate composition of juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontannus*). Comparative Biochemistry and Physiology. 1: 269-272.
61.Gawlicka, A., Herold, M.A., Barrows F.T., De La Noue, J., and Hung, S.S.O. 2002. Effects of dietary lipids on growth, fatty acid composition, intestinal absorption, and hepatic storage in white sturgeon (*Acipenser transmontanus* R.) larvae. Journal of Applied Ichthyology. 18: 673-681.