

Effects of water hardness on the growth, survival, and nutritional indices of golden spotted catfish (*Pterygoplichthys joselimaianus*)

Namaei Kohal, M.¹ Esmaeili Fereidouni, A.^{1*}, Hill, J.²

1-Department of Fisheries, Faculty of Animal Sciences and Fisheries, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Department of Fisheries and Aquatic Sciences, Food Research Institute and Agricultural Sciences, University of Florida, Florida, USA

Received: 6 November 2024

Accepted: 30 December 2024

Abstract

Introduction: Water hardness is one of the important factors of water quality parameters in the sexual maturation of broodstock, artificial propagation, and rearing of ornamental catfish in hatchery conditions.

Materials and methods: In this study, the effects of water hardness were conducted on growth, survival, and nutritional indices of golden spotted catfish (*Pterygoplichthys joselimaianus*) from the larval to fingerlings stage for seven weeks. Ten-day-old larvae ($n= 240$; initial weight and length of 0.19 mg and 11.9 mm, respectively) were randomly distributed in four hardness levels (each treatment in three replicates) including 50, 150, 350, and 650 mg/L of calcium carbonate in 12 tanks with a useful water capacity of 90 L and stocking density of 20 fish per tank.

Results and Discussion: The results showed that the growth indices had significant differences between treatments ($p<0.05$). Final body weight and length of the fish increased from 50 to 150 mg/L, but decreased greatly at 350 and 650 mg/L ($p<0.05$). Food conversion ratio and average daily growth rate showed no differences ($p>0.05$) between 350 and 650 mg/L levels; but both levels revealed significant differences compared to the lower levels ($p<0.05$). Significant trend was observed in the percentage of body weight gain and specific weight growth rate in fish reared at 150 mg/L compared to other levels ($p<0.05$); so that these values greatly decreased with increasing of hardness up to 650 mg/L. A relatively similar trend was observed in the percentage of body length increment and specific growth rate of length in fish reared at 150 mg/L compared to other levels ($p<0.05$). Highest (90%) and lowest (60%) survival rates were recorded in fish at 150 and 650 mg/L, respectively ($p<0.05$). Although all hardness levels, a

survival percentage > 60% was possible to rearing the catfish larvae up to the fingerling stage; but lower levels (50-150 mg/L with survival percentage > 80%) are preferable.

Conclusion: According to the findings of the present study, the hardness of 150 mg/L was suggested due to the higher final body weight and length, improvement of the food conversion ratio, increased in the growth rate of specific weight and length, along with the highest survival percentage for rearing of golden spotted catfish from the larval up to fingerling stage.

Keywords: golden spotted catfish, water hardness, growth, food conversion ratio

* Corresponding Author: a.esmaeili@sanru.ac.ir

"مقاله پژوهشی"

اثرات سختی آب بر رشد، بازماندگی و شاخص های تغذیه ای گربه ماهی خال طلائی (*Pterygoplichthys joselimaianus*)

مریم نمایی کهل^۱، ابوالقاسم اسماعیلی فریدونی^{۱*}، جفری هیل^۲

۱- گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲- گروه شیلات و علوم آبزیان، انستیتو تحقیقات غذا و علوم کشاورزی، دانشگاه فلوریدا، فلوریدا، ایالات متحده آمریکا

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۹/۶

چکیده

سختی آب یکی از فاکتورهای مهم کیفی آب در رسیدگی جنسی مولدین، تکثیر مصنوعی و پرورش گربه ماهیان زینتی در شرایط کارگاهی به شمار می‌رود. در این مطالعه، اثرات سختی آب بر رشد، بازماندگی و شاخص‌های تغذیه‌ای گربه ماهی خال طلائی (*Pterygoplichthys joselimaianus*) از مرحله لاروی تا انتهای انگشت‌قندی به مدت ۷ هفته بررسی شد. ابتدا لاروهای ده روزه (۲۴۰ قطعه؛ وزن و طول اولیه به ترتیب ۰/۱۹ میلی‌گرم و ۱۱/۹ میلی‌متر) به طور کاملاً تصادفی در چهار سطح از سختی آب (هر تیمار در سه تکرار) شامل سطوح ۵۰، ۱۵۰، ۳۵۰ و ۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم در ۱۲ تانک به ظرفیت مفید ۹۰ لیتر و با تراکم ذخیره‌سازی ۲۰ قطعه در هر تانک توزیع شدند. نتایج نشان داد که شاخص‌های رشد ماهیان (طول و وزن) اختلافات معنی‌داری در بین تیمارهای مختلف داشت ($p \leq 0/05$). وزن و طول نهایی بدن ماهیان از سختی ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش ولی در سطوح ۳۵۰ و ۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به شدت کاهش یافت ($p \leq 0/05$). ضریب تبدیل غذایی و میانگین سرعت رشد روزانه ماهیان در سطوح ۳۵۰ و ۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری نداشت ($p \geq 0/05$)؛ ولی هر دو با سطوح پایین‌تر تفاوت معنی‌دار نشان دادند ($p \leq 0/05$). روند معنی‌داری در میزان درصد افزایش وزن بدن و سرعت رشد ویژه وزنی در ماهیان واقع در سختی ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در مقایسه با سایر سطوح دیده شد ($p \leq 0/05$)؛ به طوری که این مقادیر با افزایش سختی تا ۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کاهش معنی‌داری یافتند. روند نسبتاً مشابهی در درصد افزایش طول بدن و سرعت رشد ویژه طولی در ماهیان واقع در سختی ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در مقایسه با سایر سطوح دیده شد ($p \leq 0/05$). بیشترین (۹۰ درصد) و کمترین (۶۰ درصد) میزان بازماندگی به ترتیب در ماهیان واقع در سختی ۱۵۰ و ۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به ثبت رسید ($p \leq 0/05$). از نظر شاخص بازماندگی، اگرچه امکان پرورش لاروها تا انگشت‌قندی با بقای بالاتر از ۶۰ درصد در کلیه سطوح سختی وجود داشت؛ ولی سطوح ۱۵۰-۵۰ میلی‌گرم بر لیتر (با بازماندگی بالاتر از ۸۰ درصد) ارجحیت داشتند. بر اساس یافته‌های این مطالعه در جهت پرورش مرحله لاروی تا انگشت‌قندی گربه‌ماهی خال طلائی، سختی ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به دلیل بالاتر بودن وزن و طول نهایی بدن، بهبود ضریب تبدیل غذایی، افزایش معنی‌دار سرعت رشد ویژه وزنی و طولی همراه با بالاترین بازماندگی پیشنهاد گردید.

کلمات کلیدی: سختی آب، گربه‌ماهی خال طلائی، رشد، ضریب تبدیل غذایی

مقدمه

کیفیت آب یکی از عوامل مهم در متابولیسم، رشد، بازماندگی و جلوگیری از انواع بیماری‌ها در آکواریوم‌های ماهیان آب شیرین به شمار می‌رود. برخلاف ثبات و پایداری کیفی آب در آبهای بزرگ و طبیعی (دریاچه‌ها، برکه‌ها و رودخانه‌ها)، ماهیان آکواریومی در حجم‌های بسیار کمتری از آب نگهداری می‌شوند و هر تغییری در شیمی آب اثرات منفی شدیدی بر سلامت آنها در آکواریوم خواهد داشت (Wedemeyer, 1996).

سختی آب یکی از فاکتورهای مهم کیفی آب به شمار می‌رود که در آبهای طبیعی شیرین عمدتاً معادل میزان کل یون‌های کلسیم و منیزیم بوده و بسته به مکان جغرافیایی و نوع منبع آب در محدوده‌ای از ۶۰-۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم (آبهای سبک)، ۶۰-۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر (آبهای متوسط) و بالاتر از ۱۸۰ میلی‌گرم بر لیتر (آبهای سنگین) قرار می‌گیرد (Wurts and Durbow, 1992; USGS, 2016). سختی آب در منابع آبی مختلف در کشور به شدت متغیر بوده و حتی منابع زیرزمینی مورد استفاده در آبی‌پروری هم از نظر سختی آب تفاوت‌های چشم‌گیری دارند (Nikzad et al., 2022). در آبی‌پروری، محدوده کلی سختی آب برای رشد ماهیان بین ۴۰۰-۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم بوده ولی محدوده بهینه آن بین ۱۰۰-۲۵ میلی‌گرم بر لیتر بیان شد (Boyd and Tucker, 1998; Piper et al., 1983; Schofield et al., 2011). اثرات فیزیولوژیکی سختی آب بر رشد استخوان، سطوح کلسیم خون، کاهش استرس‌های اسمزی، لخته‌سازی خون و سمیت در برابر آمونیاک به خوبی مشخص گردید (Flik and Verboost, 1995; Romano et al., 2020).

(2020; Saglum et al., 2013). به طور کلی ماهیان بخش زیادی از کلسیم و منیزیم مورد نیاز خود را مستقیماً از آب جذب می‌کنند و در آبهای با سختی پایین رشد ماهی به واسطه کمبود کلسیم مختل می‌گردد (Silva et al., 2003). از میان یون‌های موثر در سختی آب، نقش عنصر کلسیم در آبهای شیرین کلیدی‌تر می‌باشد به طوری که ماهیان آب شیرین می‌توانند فعالانه کلسیم را از آب جذب کرده و در صورت مناسب بودن میزان کلسیم قادرند رشد نرمالی را حتی با جیره‌های غذایی واجد کمبودهای کلسیم سپری نمایند (Flik and Verboost, 1995). اکثر ماهیان آب شیرین به دلیل صرف انرژی کمتر جهت تنظیم اسمزی بدن تمایل بیشتری به زندگی در آبهای سخت (۱۵۰-۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم) از خود نشان می‌دهند در حالی که ماهیان واقع در آبهای سبک و خیلی سخت به ترتیب از حساسیت بالاتری نسبت به پارامترهای کیفی آب و مشکلات جدی در تنظیم فشار اسمزی و نهایتاً افزایش تلفات مواجه می‌باشند (Pursley and Wolters, 1994; Romano et al., 2020).

بررسی مطالعات قبلی نشان می‌دهند که تعیین سطح و یا سطوح بهینه سختی آب در ماهیان به شدت به نوع گونه، اندازه بدن و مراحل رشد (سن) آبی وابسته است (Townsend et al., 2003; Tucker and Steeby, 1993; Vartak et al., 2007). در ماهیان زینتی و به‌خصوص در انواع گونه‌های گربه‌ماهیان زینتی، سطوح متفاوتی از سختی آب جهت رشد بهینه، باروری، موفقیت تخم‌گذاری، میزان بازماندگی و ثبات فعالیت‌های متابولیکی گزارش گردید (Chatakondi and Torrains, 2012; Tucker and Steeby, 1993). حداقل سختی آب بسته به نوع گونه در گربه‌ماهی

صادرات احتمالی آن در آینده وجود دارد (Adeli and Taghani, 2024). بررسی‌های صورت گرفته مشخص کردند که سختی آب یکی از مهم‌ترین فاکتورها در رسیدگی جنسی مولدین، تکثیر مصنوعی، سرعت جذب کیسه زرده، توازن در شنای عمودی، رشد و بازماندگی لاروها تا مرحله انگشت‌قندی در شرایط کارگاهی (اسارت) در گربه‌ماهیان زینتی می‌باشد (Copatti et al., 2011_b, 2019_{a,b}; Joudaki et al., 1993; Tucker and Steeby, 2021). در گونه‌های بومی تجاری (مانند تاس‌ماهی ایرانی) نیز اثرات مثبت سختی بهینه آب بر عملکرد لقاح و بقای تخم‌ها مورد تاکید قرار گرفته است که نشان از اهمیت کنترل سختی آب در مراحل حساس زیستی می‌باشد (Saeedi Saedi et al., 2008). با توجه به این که سطوح مناسب سختی در گربه‌ماهیان زینتی کاملاً مشخص نشده و تفاوت‌های بین گونه‌ای زیادی از نظر دامنه تحمل به سختی در آنها وجود دارد؛ بنابراین تعیین سطح و یا سطوح بهینه سختی می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد تولید گربه‌ماهی خال‌طلایی از نظر اقتصادی در مناطق مختلف کشور با منابع آبی حاوی سختی‌های مختلف ایفاء نماید. بر این اساس، در مطالعه حاضر اثرات سطوح مختلف سختی آب بر رشد، بازماندگی و شاخص‌های تغذیه‌ای گربه‌ماهی خال‌طلایی از مراحل لاروی تا انگشت‌قندی بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

تهیه ماهی و دوره سازگاری

این مطالعه در مرکز خصوصی تکثیر و پرورش ماهی زینتی هامون (استان البرز، شهر کرج) در زمستان سال ۱۴۰۱ انجام شد. لاروهای گربه‌ماهی خال‌طلایی

کانالی ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، گربه‌ماهی آفریقایی ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر، گربه‌ماهی نقره‌ای ۷۰ میلی‌گرم بر لیتر و در گربه‌ماهیان دهان‌مکنده ۲۵۰-۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم ارائه شد (Collazos-Lasso et al., 2018; Molokwu and Okpokwasili, 2002; Silva et al., 2003). از طرفی در گربه‌ماهیان ارتباط واضحی بین افزایش میزان سختی آب با برخی از فاکتورهای فیزیولوژیکی (میزان ترشح هورمون کورتیزول، بیان ژن هورمون رشد)، تبادلات و تنظیم فشار اسمزی-یونی بدن گزارش گردید (Baldisserotto et al., 2014; Copatti et al., 2011_a, 2019_a; Silva et al., 2003). اثرات حفاظتی سختی بالای آب در برابر سمیت ناشی از میزان بالای آمونیاک و همچنین pH های خیلی اسیدی و یا خیلی قلیایی و بهبود بازماندگی در گربه‌ماهیان در معرض قرار گرفته به مدت ۹۶ ساعت در آبهای خیلی اسیدی (pH در حد ۳/۷۵) و یا خیلی قلیایی (pH در حد ۱۰) در سختی بالاتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم بیان شد (Copatti et al., 2019_b; Townsend and Baldisserotto, 2001).

گربه‌ماهی خال‌طلایی (*Pterygoplichthys joselimaianus*) یا کت‌فیش پلکو (Pleco) از پر فروش‌ترین ماهیان زینتی از خانواده Loricariidae و به عنوان یکی از گونه‌های نظافت‌چی و با ارزش اقتصادی بالا در صنعت ماهیان زینتی به حساب می‌آید (Rueda-Jasso et al., 2013; Sipos et al., 2019).

خوشبختانه اخیراً گزارشاتی در زمینه موفقیت تکثیر مصنوعی مولدین این گونه در چند کارگاه خصوصی در داخل کشور ارائه شده و به همین دلیل پتانسیل تولید این گونه در مناطق مختلف کشور با هدف عدم وابستگی به واردات، جلوگیری از خروج ارز و

شرکت لترون ساخت کشور تایوان (مدل WA-2017SD) و به صورت هر دو روز یک‌بار انجام گرفت. ماهیان در طول دوره در دمای ۲۷-۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان اکسیژن محلول $6/1 \pm 0/4$ میلی‌گرم بر لیتر و pH $7/3-7/5$ همراه با هوادهی ملایم به مدت ۷ هفته پرورش یافته و روزانه در دو وعده (ساعات ۸ صبح و ۶ بعد از ظهر) به میزان ۳ درصد از وزن تر بدن با جیره استاندارد شرکت JBL (میزان پروتئین، چربی و کربوهیدرات به ترتیب ۳۸، ۹ و ۴۳ درصد) تغذیه شدند. میزان تعویض آب در تانک‌ها (۳۰-۴۰ درصد از حجم هر تانک) به صورت دو روز در میان در کلیه ماهیان در طول دوره پرورش تا مرحله انگشت‌قندی انجام شده و هم‌زمان مدفوع و سایر ضایعات باقی‌مانده از کف تانک‌ها سیفون شدند. برای تعویض آب و به منظور تنظیم میزان سختی آب در تیمارهای مختلف، مقادیر سختی در هر تانک از قبل با دستگاه مولتی‌پارامتر تنظیم و به تانک‌های هر تیمار اضافه شدند. به منظور اندازه‌گیری مقادیر نیتريت، آمونیاک کل و قلیائیت آب در طول دوره پرورش از دستگاه مولتی‌پارامتر (WA-2017SD) استفاده شد که این مقادیر به ترتیب کمتر از $0/1$ میلی‌گرم بر لیتر، $0/06$ میلی‌گرم بر لیتر و $25-30$ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم بود.

رشد و شاخص‌های تغذیه‌ای

با توجه به اهمیت طول و وزن بدن در ماهیان زینتی، هر دو شاخص وزنی و طولی در بچه ماهیان واقع در تیمارهای مختلف بررسی شد. در انتهای دوره پرورش، ابتدا ماهیان به مدت ۲۴ ساعت تحت گرسنگی قرار گرفتند. بیوماس کل ماهیان در هر تانک با توزین تمامی ماهیان سالم باقی‌مانده از هر تانک اندازه‌گیری شد.

(پلکو) حاصل از تکثیر القائی و هورمون‌تراپی مولدین در شرایط تکثیر مصنوعی پس از طی کردن دوره انکوباسیون تخم‌ها حاصل شدند. جهت تغذیه اولیه و سازگاری، لاروها بعد از تخم‌گشایی به مدت ده روز با شرایط پرورش در تانک‌های فایبرگلاسی یک متر مکعبی پرورش یافته و برای تغذیه آنها از جیره تجاری (شرکت JBL) در دو وعده در روز (ساعات ۸ صبح و ۷ عصر) استفاده شد.

تیمارهای آزمایشی

تعداد ۲۴۰ قطعه لارو ۱۰ روزه گربه‌ماهی پلکو (با وزن و طول اولیه به ترتیب $0/19$ میلی‌گرم و $11/9$ میلی‌متر) بعد از شروع تغذیه با غذای کنسانتره به طور کاملاً تصادفی در چهار تیمار از سختی آب (هر تیمار در سه تکرار) شامل سطوح سختی ۵۰، ۱۵۰، ۳۵۰ و ۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم و مجموعاً در ۱۲ تانک (با ابعاد $80 \times 40 \times 30$ سانتی‌متر) با ظرفیت مفید آبگیری ۹۰ لیتر و با تراکم ذخیره‌سازی ۲۰ قطعه لارو ماهی در هر تانک توزیع شدند. سطوح سختی در این مطالعه بر اساس سطح مناسب از سختی برای تخم-گشایی تخم‌ها (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر)، دامنه مطلوب گزارش شده در محیط زیست طبیعی گربه‌ماهیان زینتی (سطوح ۱۵۰ و ۳۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) و حداکثر سختی ارائه شده قابل تحمل (۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) انتخاب شدند (Sipos et al., 2019; Townsend et al., 2003; Tucker and Steeby, 1993). برای تامین آب-های با سختی‌های پایین از روش اسمز معکوس با دستگاه آکوااسپرینگ استفاده شد در حالی که آبهای با سختی بالا با افزودن بی‌کربنات کلسیم تامین شدند. اندازه‌گیری سختی آب توسط دستگاه مولتی‌پارامتر

میانگین درصد افزایش طول بدن، متوسط سرعت رشد روزانه، ضریب تبدیل غذایی، فاکتور وضعیت و میزان بازماندگی در ماهیان با روابط زیر اندازه گیری شد (Niu et al., 2009; Romano et al., 2020; Steffens, 1989).

زیست سنجی بدن (پس از بیهوشی با پودر گل میخک) با استفاده از کولیس دیجیتالی و ترازوی یک هزارم گرم (با نمونه برداری تصادفی از ۱۰ قطعه بچه ماهی از هر تکرار) انجام گرفت. شاخص های زیست سنجی شامل وزن نهایی و طول کل بدن، نرخ رشد ویژه وزنی، نرخ رشد ویژه طولی، میانگین درصد افزایش وزن بدن،

$$\text{درصد افزایش وزن بدن} = (\text{وزن نهایی} - \text{وزن اولیه}) / \text{وزن اولیه} \times 100$$

$$\text{درصد افزایش طول بدن} = (\text{طول نهایی} - \text{طول اولیه}) / \text{طول اولیه} \times 100$$

$$\text{نرخ رشد ویژه وزنی} = [(\text{لگاریتم نپرین وزن نهایی} - \text{لگاریتم نپرین وزن اولیه}) / (\text{طول دوره پرورش})] \times 100$$

$$\text{نرخ رشد ویژه طولی} = [(\text{لگاریتم نپرین طول نهایی} - \text{لگاریتم نپرین طول اولیه}) / (\text{طول دوره پرورش})] \times 100$$

$$\text{ضریب تبدیل غذایی} = \text{کل غذای خورده شده} / \text{افزایش وزن تر بدن}$$

$$\text{متوسط سرعت رشد روزانه} = (\text{وزن نهایی} - \text{وزن اولیه}) / \text{طول دوره پرورش}$$

$$\text{فاکتور وضعیت} = [(\text{طول نهایی})^3 / (\text{طول نهایی})^3] \times 100$$

$$\text{میزان بازماندگی (درصد)} = (\text{تعداد کل ماهیان سالم باقی مانده} / \text{تعداد کل ماهیان اولیه معرفی شده}) \times 100$$

تجزیه و تحلیل آماری

این مطالعه در قالب طرح کاملاً تصادفی (Completely Randomized Design) انجام گرفت. قبل از تجزیه و تحلیل، نرمال بودن داده ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. برای مقایسه میانگین های متغیرهای محاسبه شده و تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزار SPSS22 و با آنالیز واریانس یک-طرفه (One-way analysis of variance) استفاده شد. مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف از آزمون چند دامنه ای دانکن (Duncans Multiple-range test) در سطح احتمال ۵ درصد ($p \leq 0/05$) تعیین شد. جهت ترسیم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج

فاکتورهای رشد وزنی و طولی لارو گربه ماهی خال طلائی تا مرحله انگشت قدی در انتهای دوره ۷ هفته ای پرورش (جدول ۱) نشان داد که شاخص های وزنی (وزن نهایی بدن، نرخ رشد ویژه وزنی و درصد افزایش وزن بدن)، شاخص های طولی (طول نهایی بدن، نرخ رشد ویژه طولی و درصد افزایش طول بدن) اختلافات معناداری در ماهیان واقع در تیمارهای مختلف سختی آب داشتند ($p \leq 0/05$). وزن و طول نهایی بدن ماهیان از سطح ۵۰ تا ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر افزایش یافت ولی در سطوح بالاتر (۳۵۰ و ۶۵۰ میلی گرم بر لیتر) کاهش معناداری نشان داد ($p \leq 0/05$). ضریب تبدیل غذایی و میانگین سرعت رشد روزانه ماهیان در سطوح بالاتر از سختی (۳۵۰ و ۶۵۰ میلی گرم

مقادیر این پارامترها به ترتیب در ماهیان واقع در سطوح ۱۵۰ و ۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به ثبت رسید (شکل ۲).
بیشترین و کمترین میزان بازماندگی بچه‌ماهیان به ترتیب در سطوح سختی ۱۵۰ و ۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به ثبت رسید ($p \leq 0.05$)؛ با این حال، بازماندگی بالاتر از ۸۰ درصد فقط در سطوح ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد (شکل ۳).

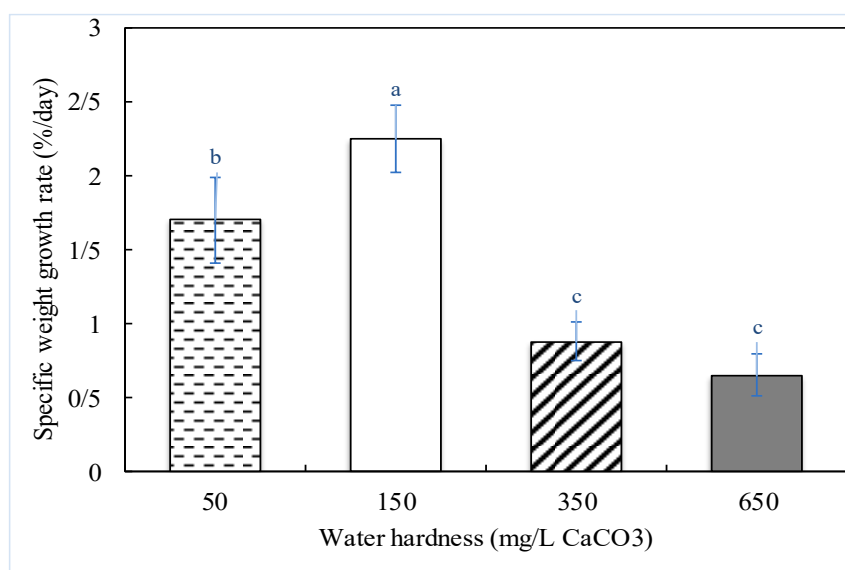
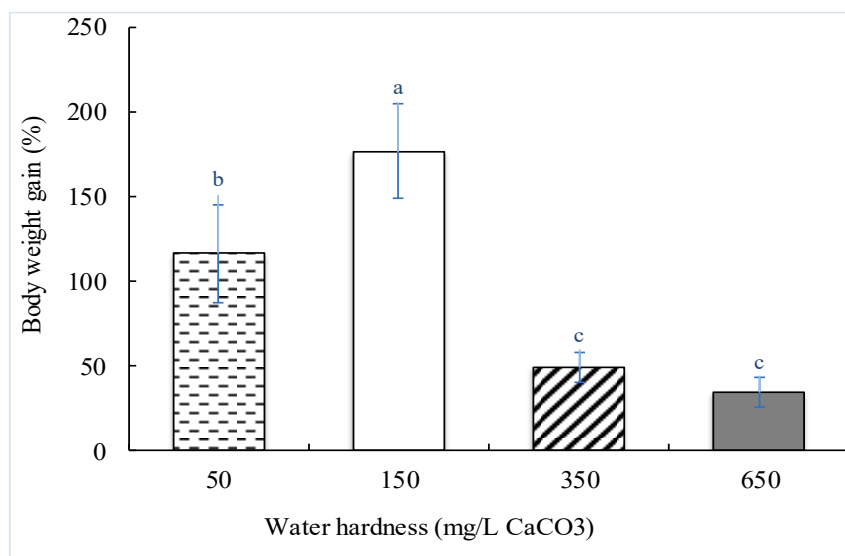
بر لیتر) اختلاف معناداری با هم نداشتند ($p \geq 0.05$) ولی هر دو سطح اختلاف معناداری با سطوح پایین‌تر نشان دادند ($p \leq 0.05$).
روند مشابه و معناداری در میزان درصد افزایش وزن بدن و سرعت رشد ویژه وزنی در گربه‌ماهی پرورش‌یافته در سختی ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در مقایسه با سایر سطوح دیده شد ($p \leq 0.05$)؛ به‌طوری‌که کمترین مقادیر این پارامترها همراه با عدم اختلاف معنادار در میان دو سطح بالای سختی (۳۵۰ و ۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) دیده شد ($p \geq 0.05$) (شکل ۱).
میزان درصد افزایش طول بدن و سرعت رشد ویژه طولی نیز روند به مراتب بهتری در گربه‌ماهی پرورش‌یافته در سختی ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در مقایسه با سایر سطوح نشان داد ($p \leq 0.05$). بیشترین و کمترین

جدول ۱: عملکرد رشد (وزن و طول بدن) و شاخص‌های تغذیه‌ای گربه‌ماهی خال‌طلایی (*Pterygoplichthys joselimaianus*) پرورش یافته در سطوح مختلف سختی آب (میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم)

Table 1: Growth performance (body weight and length) and nutritional indices of golden spotted catfish (*Pterygoplichthys joselimaianus*) cultured under different water hardness levels (mg/L as CaCO₃)

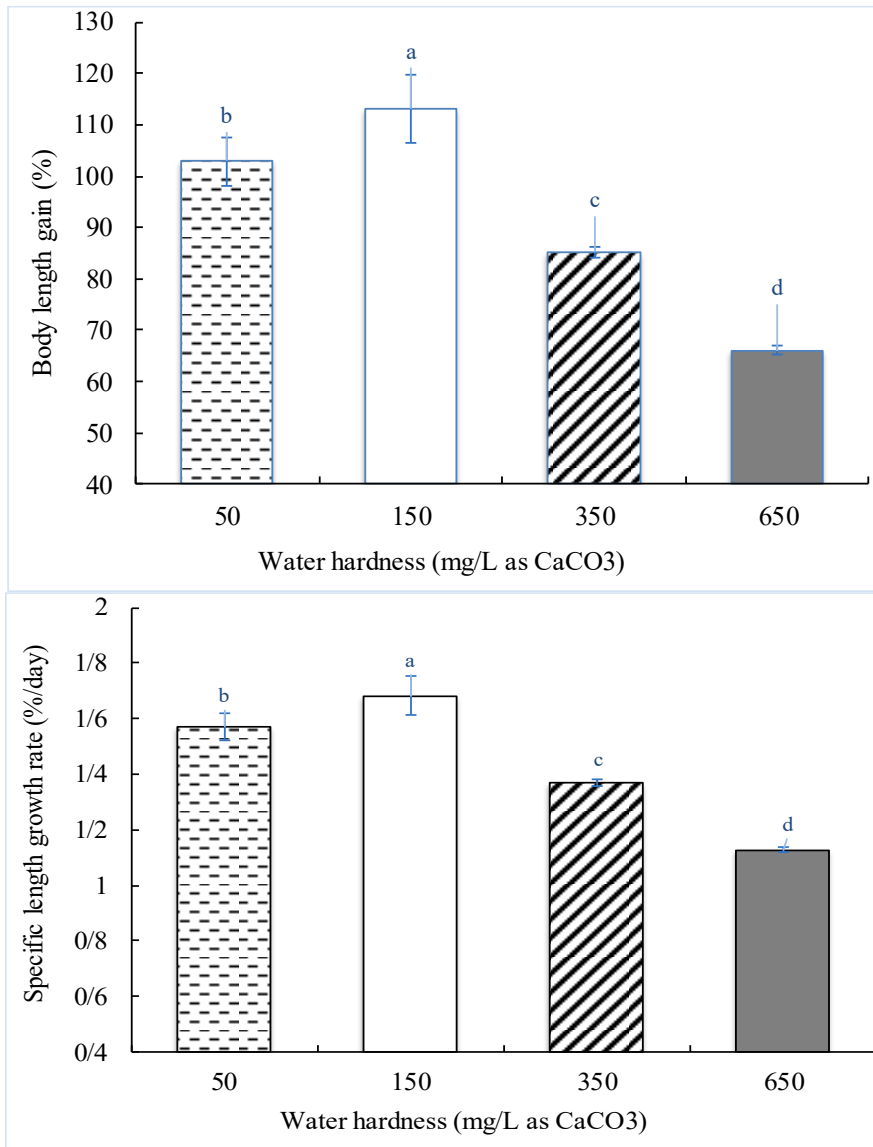
Parameter	Treatments			
	Water Hardness Levels (mg/L as Calcium Carbonate)			
	50	150	350	650
Initial weight (g)	0.19 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.20 ± 0.006	0.19 ± 0.01
Final weight (g)	0.42 ± 0.03 ^b	0.52 ± 0.06 ^a	0.30 ± 0.03 ^c	0.26 ± 0.02 ^c
Initial length (mm)	11.87 ± 0.12	11.90 ± 0.10	11.90 ± 0.20	11.90 ± 0.13
Final length (mm)	24.07 ± 0.38 ^b	25.37 ± 0.75 ^a	22.03 ± 0.06 ^c	19.77 ± 0.25 ^d
Condition factor (K)	2.99 ± 0.07 ^{bc}	3.16 ± 0.08 ^{ab}	2.83 ± 0.21 ^c	3.36 ± 0.14 ^a
Feed conversion ratio	1.30 ± 0.003 ^b	1.11 ± 0.01 ^b	1.40 ± 0.03 ^a	1.42 ± 0.02 ^a
Average daily growth rate (/ day)	0.005 ± 0.001 ^b	0.010 ± 0.001 ^a	0.002 ± 0.001 ^c	0.001 ± 0.0003 ^c

Different superscript letters within each row indicate significant differences at the 5% level ($p \leq 0.05$)



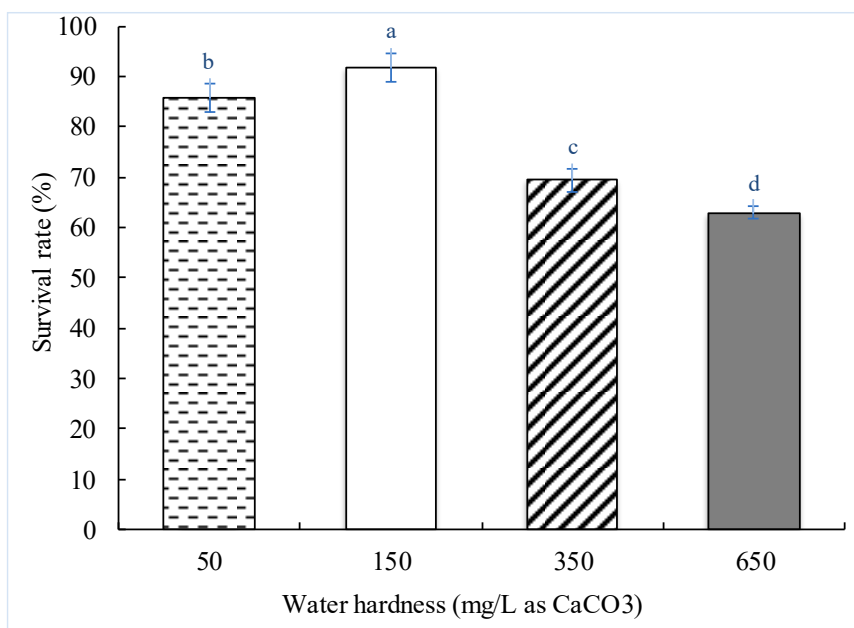
شکل ۱: درصد افزایش وزن بدن و نرخ رشد ویژه وزنی (درصد در روز) در گربه ماهی خال طلایی (*Pterygoplichthys joselimaianus*) پرورش یافته در سطوح مختلف سختی آب (میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم)

Figure 1: Body weight gain (%) and specific weight growth rate (SWGR, % day⁻¹) of golden spotted catfish (*Pterygoplichthys joselimaianus*) reared at different water hardness levels (mg/L as CaCO₃)



شکل ۲: درصد افزایش طول بدن و نرخ رشد ویژه طولی (درصد در روز) در گربه‌ماهی خال‌طلایی (*Pterygoplichthys joselimaianus*) پرورش یافته در سطوح مختلف سختی آب (میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم)

Figure 2: Body length gain (%) and specific length growth rate (SLGR, % day⁻¹) of golden spotted catfish (*Pterygoplichthys joselimaianus*) reared at different water hardness levels (mg/L as CaCO₃)



شکل ۳: میزان بازماندگی (درصد) گربه ماهی خال طلایی (*Pterygoplichthys joselimaianus*) پرورش یافته در سطوح مختلف سختی آب (میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم)

Figure 3: Survival rate (%) of golden spotted catfish (*Pterygoplichthys joselimaianus*) reared at different water hardness levels (mg/L as CaCO₃)

می باشد. از طرف دیگر، میزان اکسیژن محلول (بالاتر از ۵ میلی گرم بر لیتر) همراه با سطوح پایین آمونیاک کل (کمتر از ۰/۱ میلی گرم بر لیتر) سبب شده تا محدوده سالم و قابل قبولی برای پرورش گربه ماهی پلکو ایجاد گردد؛ لذا مداخله ای از اثرات این شاخص ها بر نتایج این مطالعه وجود ندارد.

در مطالعه حاضر، متوسط میزان بازماندگی ماهیان در کلیه تیمارها از مرحله لاروی تا انگشت قدی بالاتر از ۶۰ درصد بود با این حال این میزان متاثر از سطوح سختی آب قرار گرفت. با توجه به نتایج، گربه ماهی پلکو در شرایط پرورشی می تواند خود را در یک محدوده وسیعی از سختی (از ۵۰ تا ۶۵۰ میلی گرم بر لیتر) با بازماندگی بالاتر از ۶۰ درصد سازگار نماید. اگرچه میزان بازماندگی در گربه ماهی پلکو به واسطه حساسیت این گونه به سختی آب (محدوده ۵۰-۶۵۰

بحث

حفظ فاکتورهای کیفی آب از عوامل تضمین کننده موفقیت در آبی پروری بوده به طوری که اگر این تغییرات در محدوده قابل تحمل پرورش ماهی نباشد، شاخص های رشد، فیزیولوژیک، بازماندگی و تولیدمثل ماهیان به شدت متاثر خواهد شد. روابط متقابل و نزدیکی بین سختی و pH آب وجود دارد به طوری که میزان سختی آب می تواند با افزایش pH بیشتر شود. همچنین، میزان نیتريت آب به pH وابسته بوده و در صورت کاهش pH به کمتر از ۶/۵، نیتريت به نیتروس اکساید (با سمیت شدید برای ماهیان) تبدیل می گردد (Baldisserotto, 2011; Boyd and Tucker, 1998). با توجه به این که کلیه ماهیان مطالعه حاضر در pH در محدوده ۷/۳-۷/۵ قرار داشتند، لذا اثرات مستقیم و جنبی pH بر سایر فاکتورهای کیفی آب قابل اغماض

نوع منبع آب نسبت داد (Baldissierotto, 2011; Boyd and Tucker, 1998).

بررسی نتایج مطالعه حاضر در طول دوره پرورش لاروهای ۱۰ روزه تا مرحله انگشت‌قندی گربه‌ماهی پلکو در سختی‌های مختلف نشان داد که میزان سختی آب می‌تواند اثرات بالقوه منفی بر رشد ماهی داشته باشد. بیشترین رشد (وزن و طول نهایی بدن) در ماهیان واقع در سختی ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر حاصل شد و رشد ماهی با افزایش سختی تا ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به وضوح کاهش یافت. مقایسه نتایج مطالعه حاضر با دیگر تحقیقات انجام شده در اثرات سختی آب بر آبزبان نشان می‌دهند که نوسانات افزایشی و یا کاهشی در رشد بدن به شدت به نوع گونه آبی، وزن بدن و شرایط کیفی آب وابستگی دارند. به عنوان مثال، Tucker و Steeby (۱۹۹۳) بهترین سطوح سختی در پرورش لارو گربه‌ماهی کانالی (*Ictalurus punctatus*) را بین ۱۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بیان کردند. همچنین Townsend و همکاران (۲۰۰۳) سطوح مناسب سختی آب برای رشد بهینه در لاروهای گربه‌ماهی زینتی نقره‌ای (*R. quelen*) را بین ۷۰-۳۰ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کردند. در لاروهای گربه‌ماهی نقره‌ای و در سطوح (۲۰، ۷۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر)، Silva و همکاران (۲۰۰۵) بازماندگی به مراتب بالاتری در سطوح ۲۰ و ۷۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده کردند ولی از بین این دو سطح از سختی رشد (وزن و طول) بهتری در سطح ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر در مقایسه با ۷۰ میلی‌گرم بر لیتر حاصل شد. چنین روندی به طور نسبتاً مشابهی در دیگر گونه‌های ماهیان زینتی هم مشاهده می‌گردد. به عنوان مثال، Vartak و همکاران (۲۰۰۷) در لاروهای نرس فرشته-ماهی (*Pterophyllum scalare*) و از میان سطوح

میلی‌گرم بر لیتر در این مطالعه) قابل قبول به نظر می‌رسد ولی بالاترین بازماندگی (حدود ۹۰ درصد) در سختی ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر حاصل گردید که نشان از ارجحیت این سطح از سختی در پرورش این گونه از مرحله لارو تا انگشت‌قندی دارد. بنابراین می‌توان امیدوار بود که در مناطق مختلف کشور که سطوح متفاوتی از سختی آب (بسته به نوع منبع آب و ساختار زمین‌شناسی منطقه) دارند، لارو این گونه را تا مرحله انگشت‌قندی در شرایط پرورشی (اسارت) تولید نمود. با این حال و برخلاف سطوح ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر (با بازماندگی بالاتر از ۸۰ درصد در مطالعه حاضر)، Baldissierotto و همکاران (۲۰۱۴) در گربه‌ماهی زینتی نقره‌ای (*Rhamdia quelen*) نشان دادند که افزایش سختی آب از ۵۰ به ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر تاثیر واضحی بر میزان تلفات ماهیان ۱۲۰-۶۰ گرمی نداشت. همچنین، Copatti و همکاران (۲۰۱۱a) اثرات واضحی بر میزان بازماندگی گربه‌ماهی نقره‌ای در pH محدوده ۶ الی ۸ و سختی ۵۰-۲۵ میلی‌گرم بر لیتر گزارش نکردند. در مطالعات دیگر هم عنوان شد که افزایش در سختی آب تا ۶۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب تاثیری بر بازماندگی بچه‌ماهی نوجوان گربه‌ماهی نقره‌ای (Townsend and Baldissierotto, 2001) و لاروهای نرس فرشته‌ماهی (Vartak et al., 2007) در آبهای با pH در محدوده ۷-۸/۵ ندارند. با این وجود، Townsend و همکاران (۲۰۰۳) میزان بازماندگی کمتر از ۸ درصدی را در لاروهای گربه‌ماهی نقره‌ای در سطوح سختی بالاتر (بین ۶۰۰-۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) گزارش کردند. چنین اختلافاتی را بایست به نوع گونه، سن و وزن ماهیان، شرایط محیطی پرورش و احتمالاً

سختی (۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر) بیشترین رشد طولی بدن، سرعت رشد ویژه و ضریب تبدیل غذایی را در سختی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر گزارش کردند و با افزایش سختی آب روند کاهش شدیدی در شاخص‌های رشد و تغذیه دیده شد. این در حالی است که در برخی از گونه‌ها به خصوص ماهیان مقاوم به شوری بالاتر، قابلیت تحمل به سختی‌های خیلی بالاتر نیز گزارش گردید. به عنوان مثال، Neyjan و همکاران (۲۰۲۳) از میان سطوح سختی (از ۳۵۰ تا ۹۰۰ میلی گرم بر لیتر) در بچه ماهیان دو گرمی ماهی سفید دریای خزر (*Rutilus kutum*)، بیشترین افزایش وزن بدن، سرعت رشد روزانه و بهترین ضریب تبدیل غذایی را در سختی ۶۵۰ میلی گرم بر لیتر و بالاترین میزان هموگلوبین را در سطح ۷۰۰ میلی گرم بر لیتر گزارش کردند در حالی که میزان کورتیزول در سطح ۹۰۰ میلی گرم بر لیتر به شدت افزایش یافت. همچنین، در ماهیان نوجوان اسنوک معمولی (*Centropomus undecimalis*) رشد مطلوبی در سختی‌های بالاتر (بین ۷۰۵-۲۶۹ میلی گرم بر لیتر) گزارش شد (Tucker, 1987)؛ در حالی که اخیراً در همین گونه سختی در حد ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر (از میان سطوح ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر) به عنوان بهترین سطح از نظر افزایش وزن، ضریب تبدیل غذایی، سرعت رشد ویژه و شاخص‌های مرتبط با تنظیم فشار اسمزی بیان گردید (Michelotti et al., 2018). برعکس، Romano و همکاران (۲۰۲۰) در تاثیر سختی (۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی گرم بر لیتر) در ماهی باس دهان بزرگ (*Micropterus salmonids*) نشان دادند که سطوح مختلف از سختی آب اثری بر افزایش وزن بدن و میزان بازماندگی ماهی ندارد.

در مطالعه حاضر، کاهش وزن ۵۰ درصدی بدن در ماهی پلکوی واقع در سختی ۶۵۰ میلی گرم بر لیتر در مقایسه با ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر مشاهده شد. همچنین، سرعت رشد روزانه ماهی در سختی ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر در مقایسه با سطوح ۵۰، ۳۵۰ و ۶۵۰ میلی گرم بر لیتر به ترتیب ۲، ۵ و ۱۰ برابر بیشتر بود. روند مشابهی در درصد افزایش وزنی بالاتر (۳ برابری در مقایسه با سطوح سختی‌های ۳۵۰ و ۶۵۰ میلی گرم بر لیتر) در ماهیان واقع در سختی ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر و ۱/۵ برابری در مقایسه با سختی ۵۰ میلی گرم بر لیتر نشان-دهنده وضعیت به مراتب مطلوب‌تر فاکتورهای ماهی از نظر سلامت و آرامش می‌باشند. اگرچه فاکتورهای فیزیولوژیک و ژنی در مطالعه حاضر بررسی نشدند ولی برای ارزیابی دقیق‌تر داده‌های حاصل از این مطالعه بایست پارامترهای فیزیولوژیک، خونی-هورمونی و بیان ژن هورمون رشد در این گونه مهم از گربه‌ماهیان زینتی در آینده مورد بررسی قرار گیرند. با این وجود و از نظر فیزیولوژیکی و در دلایل احتمالی تغییرات رشدی مرتبط با سختی آب، Baldissarotto و همکاران (۲۰۱۴) ارتباط واضحی بین اثر ممانعت-کنندگی هورمون کورتیزول از طریق ممانعت در بیان ژن هورمون رشد را مطرح کردند. آنها در گربه‌ماهی زینتی نقره‌ای (*R. quelen*) نشان دادند که در ماهیان واقع در بالاترین سطح سختی (۱۲۰ میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم در مطالعه آنها) هر گونه افزایش در سطح کورتیزول پلاسما و در نتیجه بیان ژن هورمون رشد بعد از مدت زمان ۵ روز به شدت کاهش یافت و این روند منجر به کاهش رشد در ماهیان نوجوان ۱۲۰-۶۰ گرمی گردید. همچنین، Copatti و همکاران (۲۰۱۹b) در ماهی پاکو (*Piaractus*)

منابع

1. Adeli, A. and Taghani, T., 2024. Analysis of Iran's ornamental fish exports. *Journal of Aquaculture Development*, 17(4), pp.39–49. DOI: 10.22034/17.4.39 [In Persian]
2. Baldissierotto, B., 2011. Water pH and hardness affect growth of freshwater teleosts. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, pp.138–144. DOI: 10.1201/b10994-6
3. Baldissierotto, B., Martos-Sitchab, J.A., Menezes, C.C., Toni, C., Prati, R.L., Garcia, L., De, O., Salbego, J., Mancera, J.M. and Martinez-Rodriguez, G., 2014. The effects of ammonia and water hardness on the hormonal, osmoregulatory and metabolic responses of the freshwater silver catfish *Rhamdia quelen*. *Aquatic Toxicology*, 152, pp.341–352. DOI: 10.1016/j.aquatox.2014.04.013
4. Boyd, C.E. and Tucker, C.S., 1998. Pond Aquaculture Water Quality Management. Springer New York, NY, USA. 700 P.
5. Chatakondi, N.G. and Torrains, E.L., 2012. The effect of calcium hardness on hatching success of channel catfish × blue catfish hybrid catfish eggs. *North American Journal of Aquaculture*, 74(3), pp.306–309. DOI: 10.1080/15222055.2012.676003
6. Collazos-Lasso, F., Gutiérrez-Espinosa, C. and Aya-Baquero, E., 2018. Induced reproduction of the sailfin pleco (*Pterygoplichthys gibbiceps*). *AACL Bioflux*, 11(3), pp.724–729.
7. Copatti, C.E., Garcia, L.O., Cunha, M.A., Kochhann, D. and Baldissierotto, B., 2011a. Interaction of water hardness and pH on growth of silver catfish, *Rhamdia quelen*, juveniles. *The Journal of the World Aquaculture Society*. 42, pp.580–585. DOI: 10.1111/j.1749-7345.2011.00501.x
8. Copatti, C.E., Garcia, L.O., Kochhann, D., Cunha, M.A., Becker, A.G. and Baldissierotto, B., 2011b. Low water hardness and pH affect growth and

اثرات حفاظت‌کنندگی سختی بالا (*mesopotamicus*) (۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر) در مقایسه با سختی پائین (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) را در آبهای با pH قلیایی و اسیدی بر شاخص‌های خونی و سرمی پلاسمای خون گزارش کردند و بیان کردند که میزان هموگلوبین، هماتوکریت و دیگر شاخص‌های پلاسمای خون در آبهای با سختی پائین افزایش داشته ولی این شاخص‌ها در سختی‌های بالا نوسان معناداری نداشتند.

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های مطالعه حاضر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که امکان پرورش مرحله لآوری تا انگشت‌قدی گربه‌ماهی پلکو در مناطق مختلف از کشور با منابع آبی متنوع که دارای سختی‌های متفاوتی هستند وجود دارد. از نظر شاخص بازماندگی، اگرچه امکان پرورش لاروها تا انگشت‌قدی با بقای بالاتر از ۶۰ درصد در کلیه سطوح سختی وجود داشت؛ ولی سطوح ۱۵۰–۵۰ میلی‌گرم بر لیتر (با بازماندگی بالاتر از ۸۰ درصد) ارجحیت دارند. با وجود این که تفاوت‌های فاحشی در رشد و بازماندگی ماهی پلکو در سختی‌های ۶۰۰–۵۰ میلی‌گرم بر لیتر دیده شد ولی سختی ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به واسطه رشد سریع‌تر (۳–۱/۵ برابر) و بازماندگی بالاتر (تا ۹۰ درصد) به عنوان بهترین سطح از سختی آب پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از زحمات کارکنان محترم کارگاه خصوصی تکثیر ماهیان زینتی هامون کمال تشکر را دارند.

15. Neyjan, F., Khalesi, M.K. and Kohestan Eskandari, S., 2023. Effects of different water hardness levels on, growth indices, survival rate, hematological parameters and culture water quality of Caspian kutum fingerlings (*Rutilus kutum*). *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 11(4), pp.61–80. [In Persian]
16. Nikzad, F., Masoudian, M. and Tahmasebi, M.H., 2022. Evaluation of groundwater quality used in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farming in Mazandaran plain. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 17(4), pp.32–45. [In Persian]
17. Niu, J., Tian, L.X., Liu, Y.J., Yang, H.H., Ye, C.X. and Gao, W., 2009. Effect of dietary astaxanthin on growth, survival, and stress tolerance of postlarval shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *The Journal of the World Aquaculture Society*, 40, pp.795–802. DOI:10.1111/j.1749-345.2009.00300.x
18. Piper, R.G., McElwain, I.B., Orme, L.E., McCraren, J.P., Flower, L.G. and Leonard, J.R., 1983. Fish Hatchery Management. United States Department of the Interior Fish and Wildlife Service, Washington, D.C., USA.
19. Pursley, M. and Wolters, W., 1994. Effect of total water hardness and chloride on survival, growth, and feed conversion of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. *The Journal of the World Aquaculture Society*, 25, pp.448–453. DOI:10.1111/j.1749-7345.1994.tb00229.x
20. Romano, N., Egniew, N., Quintero, H., Kelly, A. and Sinha, A.K., 2020. The effects of water hardness on the growth, metabolic indicators and stress resistance of largemouth bass *Micropterus salmoides*. *Aquaculture*, 527, pp.735469. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735469
21. Rueda-Jasso, R., Campos-Mendoza, A., Arreguín-Sánchez, F., Díaz-Pardo, E. and Martínez Palacios, C., 2013. The biological and reproductive parameters of the invasive armored catfish survival of silver catfish juveniles. *Ciência Rural*, 41, pp.1482–1487. DOI: 10.1590/S0103-84782011005000101
9. Copatti, C.E., Baldissierotto, B., Souza, C.F., Moneserrat, J.M. and Garsia, L., 2019a. Water pH and hardness alter ATPases and oxidative stress in the gills and kidney of pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Neotropical Ichthyology*, 17, pp.e190032. DOI: https://doi.org/10.1590/1982-0224-20190032
10. Copatti, C.E., Baldissierotto, B., de Freitas Souza, C. and Garcia, L., 2019b. Protective effect of high hardness in pacu juveniles (*Piaractus mesopotamicus*) under acidic or alkaline pH: Biochemical and haematological variables. *Aquaculture*, 502, pp.250–257. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2018.12.028
11. Flik, G. and Verbost, P.M., 1995. Cellular mechanisms in calcium transport and homeostasis in fish. In: Hochachka, P.W., Mommsen, T.P. (Eds), *Molecular Biology: Frontiers Biochemistry and Molecular Biology of Fishes*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. pp.251–263. DOI: 10.1016/B978-0-444-81652-4.50014-5
12. Joudaki, S., Mooraki, N. and Dadgar, S., 2021. Optimized pattern for rearing *Pterophyllum scalare* according to temperature, acidity and carbonate hardness. *Journal of Aquaculture Development*, 15(2), pp.27–40. DOI: 10.52547/aquadev.15.2.27 [In Persian]
13. Michelotti, B.T., Passini, G., Carvalho, C., Salbego, J., Mori, N.C., Rodrigues, R.V., Baldissierotto, B. and Cerqueira, V.R., 2018. Growth and metabolic parameters of common Snook juveniles raised in freshwater with different water hardness. *Aquaculture*, 482, pp.31–35. DOI:10.1016/j.aquaculture.2017.10.042
14. Molokwu, C.N. and Okpokwasili, G.C., 2002. Effect of water hardness on egg hatchability and larval viability of *Clarias gariepinus*. *Aquaculture International*, 10, pp.57–64. DOI: 10.1023/A:1021395122919

28. Steffens, W., 1989. Principles of Fish Nutrition. Published by Chichester, New York, USA. 384 P.
29. Townsend, C.R. and Baldisserotto, B., 2001. Survival of silver catfish juveniles exposed to acute changes of water pH and hardness. *Aquaculture International*, 9, pp.413–419. DOI: 10.1023/A:1017953708591
30. Townsend, C., Silva, L.V. and Baldisserotto, B., 2003. Growth and survival of *Rhamdia quelen* (Siluriformes, Pimelodidae) larvae exposed to different levels of water hardness. *Aquaculture*, 215(1-4), pp.103–108. DOI:10.1016/S0044-8486(02)00168-0
31. Tucker Jr. and J.W., 1987. Snook and tarpon snook culture and preliminary evaluation for commercial farming. *The Progressive Fish-Culturist*, 49, pp.49–57. DOI: 10.1577/1548-8640(1987)49<49:SATSCA>2.0.CO;2
32. Tucker, C.S. and Steeby, J.A., 1993. A practical calcium hardness criterion for channel catfish hatchery water supplies. *The Journal of the World Aquaculture Society*, 24, pp.396–401. DOI: 10.1111/j.1749-7345.1993.tb00171.x
33. USGS (United States Geological Survey) 2016. Water Hardness. <http://water.usgs.gov/edu/hardness.html>.
34. Vartak, V.R., Bhatkar, V.R., Bondre, R.D. and Balsare, S.G., 2007. Effect of water hardness on growth and survival of fry of angelfish, *Pterophyllum scalare* (Lichtenstein, 1823). *Indian Journal of Fisheries*, 54(4), pp.397–402.
35. Wedemeyer, G.A., 1996. Physiology of Fish in Intensive Culture Systems. Springer New York, 232 P. DOI: 10.1007/978-1-4615-6011-1
36. Wurts, W.A. and Durbow, R.M., 1992. Interactions of pH, carbon-alkalinity and hardness in fish ponds. *SRAC Publication*, 464, pp.1–4.
- (*Pterygoplichthys disjunctivus*). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84, pp.318–326. DOI: 10.7550/rmb.26091
22. Saeedi Saedi, S., Vahabzadeh, H., Zamini, A.A., Tolouei, M.H. and Jalilpour, J., 2008. The effect of total hardness on the fertilization success of Persian sturgeon (*Acipenser persicus*). *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 19(2), pp.55–63. [In Persian]
23. Saglum, D., Atli, G. and Canli, M., 2013. Investigations on the osmoregulation of freshwater fish (*Oreochromis niloticus*) following exposures to metals (Cd, Cu) in differing hardness. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 92, pp.79–86. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2013.02.020
24. Schofield, P.J., Peterson, M.S., Lowe, M.R., Peterson, N.J. and Slack, W.T., 2011. Survival, growth and reproduction of non-indigenous Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Physiological capabilities in various temperatures and salinities. *Marine and Freshwater Research*, 62, pp.439–449. DOI: 10.1071/MF10207
25. Silva, L.V.F., Golombieski, J.I. and Baldisserotto, B., 2003. Incubation of silver catfish, *Rhamdia quelen* (Pimelodidae), eggs at different calcium and magnesium concentrations. *Aquaculture*, 228(1-4), pp.279–287. DOI: 10.1016/S0044-8486(03)00265-5
26. Silva, L.V., Golombieski, J.I. and Baldisserotto, B., 2005. Growth and survival of silver catfish larvae, *Rhamdia quelen* (Heptapteridae) at different calcium and magnesium concentrations. *Neotropical Ichthyology*, 3(2), pp.299–304. DOI: 10.1590/S1679-62252005000200008
27. Sipos, J., Lipscomb, N., Wood, L., Ramee, W., Watson, A. and DiMaggio, A., 2019. Evaluation of cGnRH IIa for induction spawning of two ornamental Synodontis species. *Aquaculture*, 511, pp.1–10. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.734226