Journal of Aquaculture Development
Vol. 19, No. 3, 2025, Pages: 100-115
DOI: 10.71901/jad-2025-3-837

RESEARCH PAPER **OPEN ACCESS**

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**

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-837]

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*

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-837]

DOI: 10.71901/jad-2025-3-837

"مقاله پژوهشی"

اثرات سختی آب بر رشد، بازماندگی و شاخص‌های تغذیه‌ای گربه‌ماهی خال‌طلایی (*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 دریافت: ۱۴۰۳/۹/۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰

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 طلایی (*Pterygoplichthys joselimaianus*) از مرحله لاروی تا انتهای انگشت‌قدی به مدت ۷ هفته بررسی شد. ابتدا لاروهای ده روزه (۲۴۰ قطعه؛ وزن و طول اولیه بترتیب ۰/۱۹ میلی‌گرم و ۱۱/۹ میلی‌متر) به طور کاملا 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$۰/۰۵). وزن و طول نهایی بدن ماهیان از سختی ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش ولی در سطوح ۳۵۰ و ۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به شدت کاهش یافت ($p\leq$۰/۰۵). ضریب تبدیل غذایی و میانگین سرعت رشد روزانه ماهیان در سطوح ۳۵۰ و ۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری نداشت ($p\geq$۰/۰۵)؛ ولی هر دو با سطوح پایین‌تر تفاوت معنی‌دار نشان دادند ($p\leq$۰/۰۵). روند معنی‌داری در میزان درصد افزایش وزن بدن و سرعت رشد ویژه وزنی در ماهیان واقع در سختی ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در مقایسه با سایر سطوح دیده شد ($p\leq$۰/۰۵)؛ به طوری‌که این مقادیر با افزایش سختی تا ۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کاهش معنی‌داری یافتند. روند نسبتا مشابهی در درصد افزایش طول بدن و سرعت رشد ویژه طولی در ماهیان واقع در سختی ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در مقایسه با سایر سطوح دیده شد ($p\leq$۰/۰۵). بیشترین (۹۰ درصد) و کمترین (۶۰ درصد) میزان بازماندگی به ترتیب در ماهیان واقع در سختی ۱۵۰ و ۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به ثبت رسید ($p\leq$۰/۰۵). 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 داشتند. بر اساس یافته‌های این مطالعه در جهت پرورش مرحله لاروی تا انگشت‌قدی گربه‌ماهی خال‌طلایی، 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 خال‌طلایی، رشد، ضریب تبدیل غذایی

* عهده‌دار مکاتبات: a.esmaeili@sanru.ac.ir

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]
[DOI: 10.71901/jad-2025-3-837]

مقدمه

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

سختی آب یکی از فاکتورهای مهم کیفی آب به شمار می‌رود که در آبهای طبیعی شیرین عمدتا 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 به‌شدت متغیر بوده و حتی منابع زیرزمینی مورد استفاده در آبزی‌پروری هم از نظر سختی آب تفاوت‌های چشم‌گیری دارند (Nikzad *et al.*, 2022). در آبزی‌پروری، 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 Verbost, 1995; Romano *et al.*, 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 به‌واسطه کمبود کلسیم مختل می‌گردد (Silva *et al.*, 2003). از میان یون‌های موثر در سختی آب، نقش عنصر کلسیم در آبهای شیرین کلیدی‌تر می‌باشد به طوری‌که 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 Verbost, 1995). اکثر ماهیان آب شیرین به دلیل صرف انرژی کمتر جهت تنظیم اسمزی بدن تمایل بیشتری به زندگی در آبهای سخت (۱۵۰-۱۰۰ میلی-گرم در لیتر کربنات کلسیم) از خود نشان می‌دهند در حالی که ماهیان واقع در آبهای سبک و خیلی‌سخت به ترتیب از حساسیت بالاتری نسبت به پارامترهای کیفی آب و مشکلات جدی در تنظیم فشار اسمزی و نهایتا 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 به‌شدت به نوع گونه، اندازه بدن و مراحل رشد (سن) آبزی وابسته است (Townsend *et al.*, 2003; Tucker and Steeby, 1993; Vartak *et al.*, 2007). در ماهیان زینتی و به‌خصوص در انواع گونه‌های گربه ماهیان زینتی، سطوح متفاوتی از سختی آب جهت رشد بهینه، باروری، موفقیت تخم‌گشایی، میزان بازماندگی و ثبات فعالیت‌های متابولیکی گزارش گردید (Chatakondi and Torrans, 2012; Tucker and Steeby, 1993). حداقل سختی آب بسته به نوع گونه در گربه‌ماهی

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-837]

کانالی ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، گربه‌ماهی آفریقایی ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر، گربه‌ماهی نقره‌ای ۷۰ میلی‌گرم بر لیتر و در گربه‌ماهیان دهان مکنده 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 خیلی‌اسیدی (pH در حد ۳/۷۵) و یا خیلی‌قلیایی (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 پرفروش‌ترین 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 اخیرا 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 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 انگشت‌قدی در شرایط کارگاهی (اسارت) در گربه‌ماهیان زینتی می‌باشد (Copatti *et al.,* 2011_b, $2019_{a,b}$; Joudaki *et al.,* 2021; Tucker and Steeby, 1993). 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 کاملا 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 انگشت‌قدی 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

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]
[DOI: 10.71901/jad-2025-3-837]

(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 ۰/۱۹ میلی‌گرم و ۱۱/۹ میلی‌متر) بعد از شروع تغذیه با غذای کنسانتره به طور کاملا 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 مجموعا در ۱۲ تانک (با ابعاد ۳۰×۴۰×۸۰ 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 تخم‌گشایی 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 آب‌های با سختی‌های پایین از روش اسمز معکوس با دستگاه آکواسپرینگ استفاده شد در حالی‌که آبهای با سختی بالا با افزودن بی‌کربنات کلسیم تامین شدند. اندازه‌گیری سختی آب توسط دستگاه مولتی‌پارامتر 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 ۶/۱±۰/۴ میلی‌گرم بر لیتر و pH ۷/۵-۷/۳ 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 انگشت‌قدی 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 نیتریت، آمونیاک کل و قلیائیت آب در طول دوره پرورش از دستگاه مولتی‌پارامتر (WA-2017SD) استفاده شد که این مقادیر به ترتیب کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر، ۰/۰۶ میلی‌گرم بر لیتر و ۳۰-۲۵ 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.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-837]

زیست‌سنجی بدن (پس از بیهوشی با پودر گل میخک) با استفاده از کولیس دیجیتالی و ترازوی یک‌هزارم گرم (با نمونه‌برداری تصادفی از ۱۰ قطعه بچه ماهی از هر تکرار) انجام گرفت. شاخص‌های زیست‌سنجی شامل وزن نهایی و طول کل بدن، نرخ رشد ویژه وزنی، نرخ رشد ویژه طولی، میانگین درصد افزایش وزن بدن، میانگین درصد افزایش طول بدن، متوسط سرعت رشد روزانه، ضریب تبدیل غذایی، فاکتور وضعیت و میزان بازماندگی در ماهیان با روابط زیر اندازه‌گیری شد (Niu *et al.,* 2009; Romano *et al.,* 2020; Steffens, 1989).

درصد افزایش وزن بدن = (وزن نهایی- وزن اولیه) / وزن اولیه × ۱۰۰

درصد افزایش طول بدن = (طول نهایی- طول اولیه) / طول اولیه × ۱۰۰

نرخ رشد ویژه وزنی = [(لگاریتم نپرین وزن نهایی- لگاریتم نپرین وزن اولیه)]/ (طول دوره پرورش) × ۱۰۰

نرخ رشد ویژه طولی = [(لگاریم نپرین طول نهایی- لگاریم نپرین طول اولیه)] / (طول دوره پرورش) × ۱۰۰

ضریب تبدیل غذایی = کل غذای خورده شده / افزایش وزن تر بدن

متوسط سرعت رشد روزانه = (وزن نهایی - وزن اولیه) / طول دوره پرورش

فاکتور وضعیت = [وزن نهایی / (طول نهایی)^{3}] × ۱۰۰

میزان بازماندگی (درصد) = (تعداد کل ماهیان سالم باقی‌مانده/ تعداد کل ماهیان اولیه معرفی شده) × ۱۰۰

تجزیه و تحلیل آماری

این مطالعه در قالب طرح کاملا تصادفی (Completely Randomized Design) انجام گرفت. قبل از تجزیه و تحلیل، نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. برای مقایسه میانگین‌های متغیرهای محاسبه شده و تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS22 و با آنالیز واریانس یک-طرفه (One-way analysis of variance) استفاده شد. مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Duncans Multiple- range test) در سطح احتمال ۵ درصد ($p\leq$۰/۰۵) تعیین شد. جهت ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج

فاکتورهای رشد وزنی و طولی لارو گربه‌ماهی خال‌طلایی تا مرحله انگشت‌قدی در انتهای دوره ۷ هفته‌ای پرورش (جدول ۱) نشان داد که شاخص‌های وزنی (وزن نهایی بدن، نرخ رشد ویژه وزنی و درصد افزایش وزن بدن)، شاخص‌های 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$۰/۰۵). وزن و طول نهایی بدن ماهیان از سطح ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافت ولی در سطوح بالاتر (۳۵۰ و ۶۵۰ میلی-گرم بر لیتر) کاهش معناداری نشان داد ($p\leq$۰/۰۵). ضریب تبدیل غذایی و میانگین سرعت رشد روزانه ماهیان در سطوح بالاتر از سختی (۳۵۰ و ۶۵۰ میلی‌گرم

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-837]

بر لیتر) اختلاف معناداری با هم نداشتند ($p\geq$۰/۰۵) ولی هر دو سطح اختلاف معناداری با سطوح پایین‌تر نشان دادند ($p\leq$۰/۰۵).

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$۰/۰۵)؛ به‌طوریکه کمترین مقادیر این پارامترها همراه با عدم اختلاف معنادار در میان دو سطح بالای سختی (۳۵۰ و ۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) دیده شد ($p\geq$۰/۰۵) (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$۰/۰۵). بیشترین و کمترین 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$۰/۰۵)؛ با این‌حال، بازماندگی بالاتر از ۸۰ درصد فقط در سطوح ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد (شکل ۳).

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

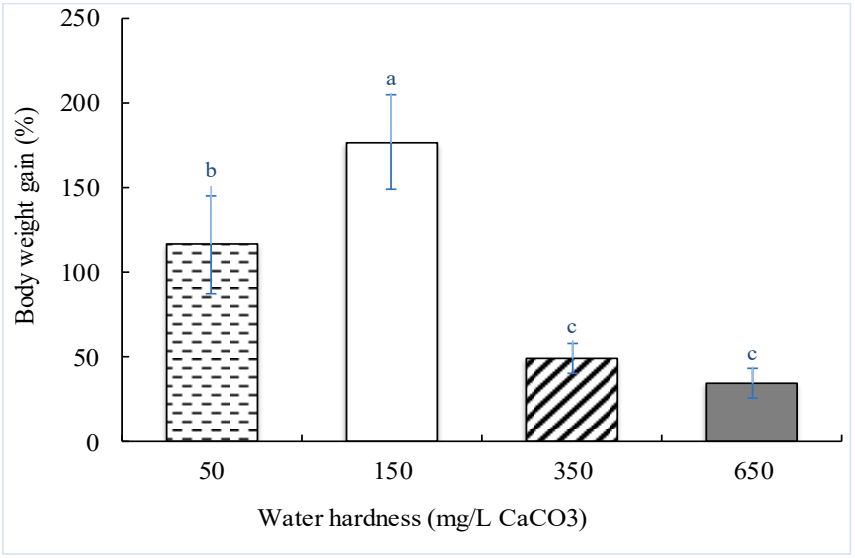
Table 1: Growth performance (body weight and length) and nutritional indices of golden spotted catfish (*Pterygoplichthys joselimaianus*) cultured under different water hardness levels (mg/L as $CaCO_3$)

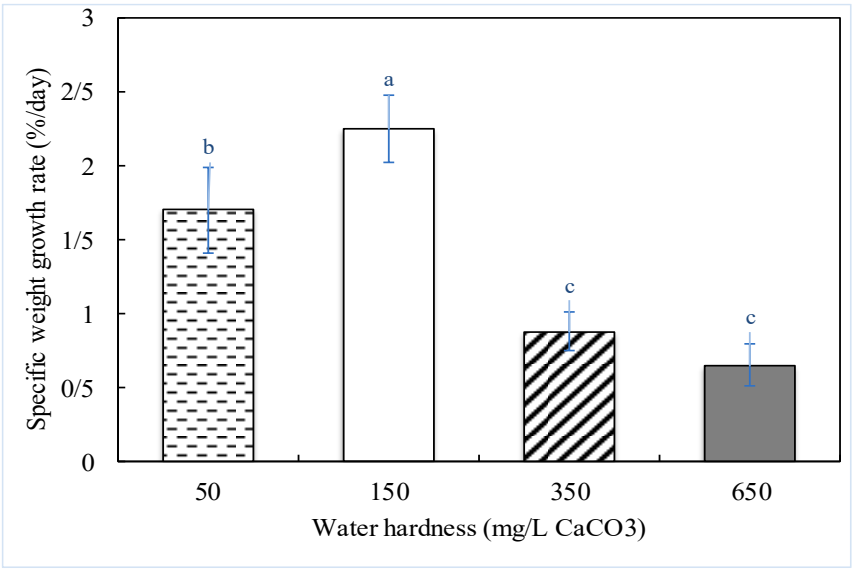
Parameter	Treatments			
	Water Hardness Levels (mg/L as Calcium Carbonate)			
	50	150	350	650
Initial weight (g)	0.19 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.20 ± 0.006	0.19 ± 0.01
Final weight (g)	0.42 ± 0.03^{b}	0.52 ± 0.06^{a}	0.30 ± 0.03^{c}	0.26 ± 0.02^{c}
Initial length (mm)	11.87 ± 0.12	11.90 ± 0.10	11.90 ± 0.20	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)

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-837]



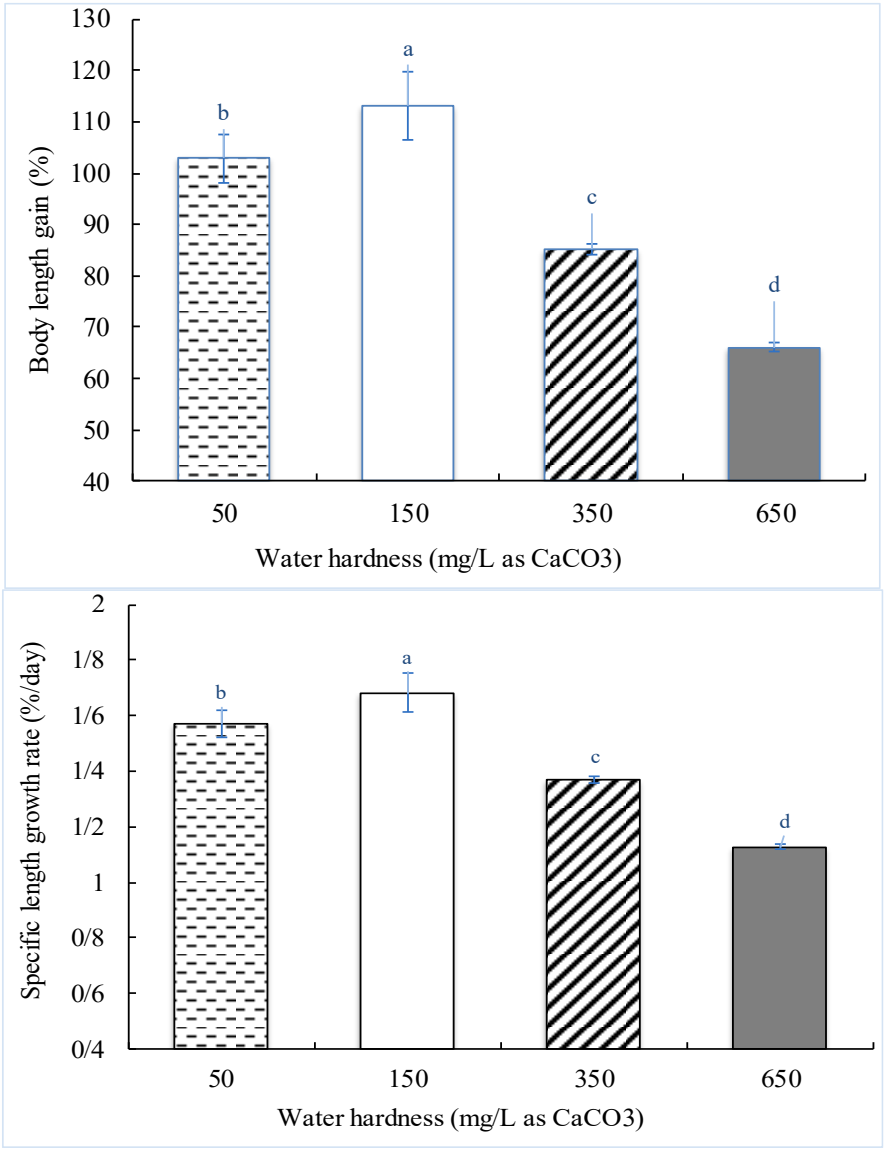


شکل ۱: درصد افزایش وزن بدن و نرخ رشد ویژه وزنی (درصد در روز) در گربه ماهی خال طلایی (*Pterygoplichthys joselimaianus*) پرورش یافته در سطوح مختلف سختی آب (میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم)

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 $CaCO_3$)

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-837]

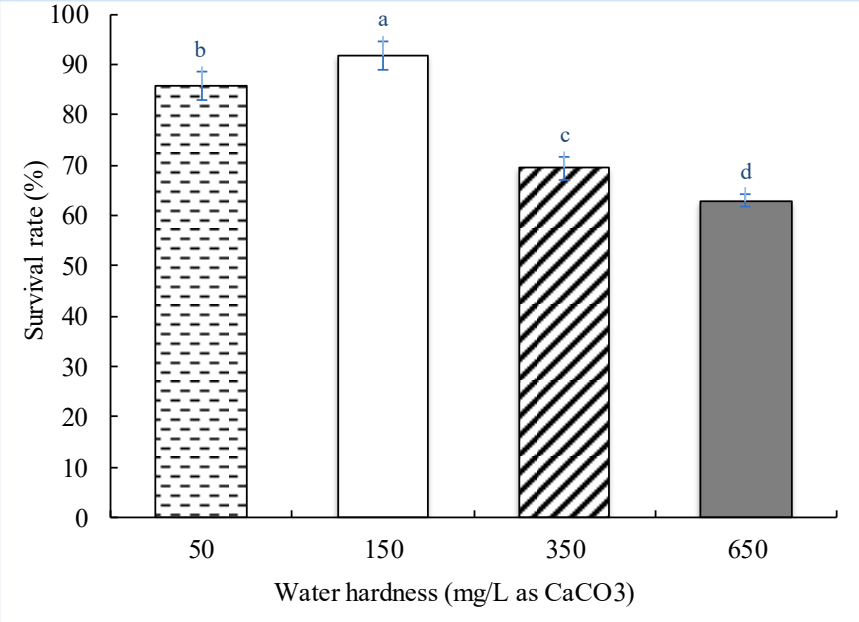


شکل ۲: درصد افزایش طول بدن و نرخ رشد ویژه طولی (درصد در روز) در گربه ماهی خال طلایی (*Pterygoplichthys joselimaianus*) پرورش یافته در سطوح مختلف سختی آب (میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم)

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 $CaCO_3$)

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-837]



شکل ۳: میزان بازماندگی (درصد) گربه‌ماهی خال‌طلایی (*Pterygoplichthys joselimaianus*) پرورش یافته در سطوح مختلف سختی آب (میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم)

Figure 3: Survival rate (%) of golden spotted catfish (*Pterygoplichthys joselimaianus*) reared at different water hardness levels (mg/L as $CaCO_3$)

بحث

حفظ فاکتورهای کیفی آب از عوامل تضمین‌کننده موفقیت در آبزی‌پروری بوده به‌طوری‌که اگر این تغییرات در محدوده قابل تحمل پرورش ماهی نباشد، شاخص‌های رشد، فیزیولوژیک، بازماندگی و تولیدمثل ماهیان به شدت متاثر خواهد شد. روابط متقابل و نزدیکی بین سختی و pH آب وجود دارد به طوری‌که میزان سختی آب می‌تواند با افزایش pH بیشتر شود. همچنین، میزان نیتریت آب به pH وابسته بوده و در صورت کاهش pH به کمتر از ۶/۵، نیتریت به نیتروس اکساید (با سمیت شدید برای ماهیان) تبدیل می‌گردد (Baldisserotto, 2011; Boyd and Tucker, 1998). با توجه به این که کلیه ماهیان مطالعه حاضر در pH در محدوده ۷/۵-۷/۳ قرار داشتند، لذا اثرات مستقیم و جنبی pH بر سایر فاکتورهای کیفی آب قابل اغماض می‌باشد. از طرف دیگر، میزان اکسیژن محلول (بالاتر از ۵ میلی‌گرم بر لیتر) همراه با سطوح پایین آمونیاک کل (کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر) سبب شده تا محدوده سالم و قابل قبولی برای پرورش گربه ماهی پلکو ایجاد گردد؛ لذا مداخله‌ای از اثرات این شاخص‌ها بر نتایج این مطالعه وجود ندارد.

در مطالعه حاضر، متوسط میزان بازماندگی ماهیان در کلیه تیمارها از مرحله لاروی تا انگشت‌قدی 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 می‌تواند خود را در یک محدوده وسیعی از سختی (از ۵۰ تا ۶۵۰ میلی‌گرم 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 ۶۵۰-۵۰

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]
[DOI: 10.71901/jad-2025-3-837]

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 انگشت‌قدی 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 انگشت‌قدی 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)، Baldisserotto 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 به‌ترتیب تاثیری بر بازماندگی بچه‌ماهی نوجوان گربه‌ماهی نقره‌ای (Townsend and Baldisserotto, 2001) و لاروهای نورس فرشته‌ماهی (Vartak *et al.*, 2007) در آبهای با pH در محدوده ۸/۵-۷ 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 احتمالا نوع منبع آب نسبت داد (Baldisserotto, 2011; Boyd and Tucker, 1998).

بررسی نتایج مطالعه حاضر در طول دوره پرورش لاروهای ۱۰ روزه تا مرحله انگشت‌قدی 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 آبزیان نشان می‌دهند که نوسانات افزایشی و یا کاهشی در رشد بدن به شدت به نوع گونه آبزی، 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 نسبتا مشابهی در دیگر گونه‌های ماهیان زینتی هم مشاهده می‌گردد. به عنوان مثال، Vartak و همکاران (۲۰۰۷) در لاروهای نورس فرشته‌ماهی (*Pterophyllum scalare*) و از میان سطوح

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]
[DOI: 10.71901/jad-2025-3-837]

سختی (۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بیشترین رشد طولی بدن، سرعت رشد ویژه و ضریب تبدیل غذایی را در سختی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کردند و با افزایش سختی آب روند کاهشی 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 میلی‌گرم 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 میلی‌گرم بر لیتر و بالاترین میزان هموگلوبین را در سطح ۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کردند درحالی‌که میزان کورتیزول در سطح ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به شدت افزایش یافت. همچنین، در ماهیان نوجوان اسنوک معمولی (*Centropomus undecimalis*) رشد مطلوبی در سختی‌های بالاتر (بین ۷۰۵-۲۶۹ میلی‌گرم بر لیتر) گزارش شد (Tucker, 1987)؛ در حالی که اخیرا در همین گونه سختی در حد ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (از میان سطوح ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم 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 میلی‌گرم 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 میلی‌گرم بر لیتر در مقایسه با ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد. همچنین، سرعت رشد روزانه ماهی در سختی ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در مقایسه با سطوح ۵۰، ۳۵۰ و ۶۵۰ میلی‌گرم 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 میلی‌گرم بر لیتر) در ماهیان واقع در سختی ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۱/۵ برابری در مقایسه با سختی ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نشان‌دهنده 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 دلائل احتمالی تغییرات رشدی مرتبط با سختی آب، Baldisserotto و همکاران (۲۰۱۴) ارتباط واضحی بین اثر ممانعت‌کنندگی 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 میلی‌گرم 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 (۲۰۱۹_b) در ماهی پاکو (*Piaractus*

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-837]

mesopotamicus) اثرات حفاظت‌کنندگی سختی بالا (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

براساس یافته‌های مطالعه حاضر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که امکان پرورش مرحله لاوری تا انگشت‌قدی گربه ماهی 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.

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. Baldisserotto, 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. Baldisserotto, B., Martos-Sitchab, J.A., Menezes, C.C., Toni, C., Pratid, 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 Torrans, 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 Baldisserotto, 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 Baldisserotto, B., 2011b. Low water hardness and pH affect growth and

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-837]

survival of silver catfish juveniles. *Ciência Rural*, *41*, pp.1482–1487. DOI: 10.1590/S0103-84782011005000101

9. Copatti, C.E., Baldisserotto, 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., Baldisserotto, 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/aqudev.15.2.27 [In Persian]
13. Michelotti, B.T., Passini, G., Carvalho, C., Salbego, J., Mori, N.C., Rodrigues, R.V., Baldisserotto, 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
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., Egnew, 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

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-837]

(*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
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.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-837]