13 (3) 229-238, Autumn 2021

Journal of Animal Environment

(AEJ)

Journal homepage: http://www.aejournal.ir

Original Research Paper

Determining the optimum conditions of rearing *Labidochromis caeruleus* according to the evaluation of environmental parameters: temperature, acidity and carbonate hardness of water

Nargess Mooraki [1*], Shahram Dadgar [2], Reza Nahavandi [3], Sahand Joodaki [1]

[1] *Department of Fishery, College of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*

[2] *Iranian Fisheries Science Research Institute, Agriculture Research Education and Organization (AREEO), Tehran, Iran*

[3] *Iranian Animal Science Research Institute, Agriculture Research Education and Organization (AREEO), Karaj, Iran*

Key Words

Optimum conditions
Macro
Labidochromis caeruleus
Temperature
Acidity
Carbonate hardness

Abstract

Introduction: This study was designed to determine the effects of temperature, pH and dKH on growth performance indices of Macro (*Labidochromis caeruleus*).

Materials & Methods: In each aquarium, 3 fishes were entered randomly with the weighted average: 0.31±0.05 gr and were fed, 5% of biomass twice daily. After 2 weeks adapting, in two intervals,1-25 days and 25-40 days, the biometric measurements were done and growth indices were calculated. In each aquarium, there were specific combinations of temperature, pH and dKH, using response surface method by Design Expert 7.0, and in total 14 combinations of factors each with 3 replications. According to the results, the combinations of temperature 26˚c, pH: 7.5 and 7 dKH had the best effect on fishes. Studying growth patterns showed that the best mathematical model to show the changes of growth indices was the quadratic equation.

Result: In the end, weighted average of fishes was 0.75±0.05 gr. The interactions between pH × temperature, and dKH, was more effective on weight changes. At the first time interval, the optimum conditions were 26˚c, pH 7.5 and dKH 7.97-8.2, and at the second period, the optimum conditions were a combination of 25.37-25.62˚c, dKH 8.2-8.35 and pH 7.5-8.25. The optimum temperature to have the least FCR, was 27.67˚c, dKH: 7.65-8 and pH: 6.7-8. Besides, none of the linear, quadratic and cubic equations, represents the length growth of Macro fishes.

Conclusion: Therefore, the results of this study, determined the optimum conditions of rearing this species according to the three mentioned parameters.

* Corresponding Author's email: Nargess_Mooraki@Yahoo.com

Received: 25 December 2020; Reviewed: 28 January 2021; Revised: 24 March 2021; Accepted: 27 April 2021

(DOI): 10.22034/AEJ.2021.280409.2494

مقاله پژوهشی

تعیین شرایط بهینه پرورش ماهی ماکرو(*Labidochromis caeruleus*) براساس سنجش پارامترهای محیطی دما، اسیدیته و سختی کربنات آب

نرگس موركی*[1]، شهرام دادگر[2]، رضا نهاوندی[3]، سهند جودکی[1]

[1] گروه شیلات، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[2] موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
[3] موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

کلمات کلیدی

شرایط بهینه
ماهی ماکرو
Labidochromis caeruleus
دما
اسیدیته

چکیده

مقدمه: مطالعه حاضر با هدف تعیین مقایسه اثر فاکتورهای دما، اسیدیته و سختی کربنات آب بر عملکرد پارامترهای رشد ماهی ماکرو (*Labidochromis caeruleus*) طراحی گردید.

مواد و روش‌ها: در هر آکواریوم، ۳ قطعه ماهی، با میانگین وزنی ۰/۰۵±۰/۳۱ گرم قرار داده شد و به‌صورت روزانه در دو نوبت به‌میزان ۵ درصد وزن زنده، غذادهی شدند. پس از گذراندن ۲ هفته به‌عنوان دوره آداپتاسیون، طی دو بازه زمانی ۱ تا ۲۵ روز و ۲۵ تا ۴۰ روز، زیست‌سنجی انجام شده و پارامترهای رشد، شامل: افزایش وزن و طول بدن و ضریب تبدیل غذایی (FCR) محاسبه شد. با طراحی آزمایشات با نرم‌افزار Design Expert ۷,۰، ترکیبی از سه عامل دما، pH و dKH و در مجموع ۱۴ تیمار با ۳ تکرار در هر آکواریوم تنظیم گردید که با توجه به منابع، تیمار دارای ترکیب شرایط دمایی ۲۶°c، pH ۷/۵ و سختی ۷ تامین‌کننده شرایط بهینه برای ماهیان بود. طبق بررسی الگوی رشد، مدل ریاضی بهینه برای تغییرات پارامترهای رشد، معادله درجه دوم است.

نتایج: در پایان دوره، میانگین وزنی ماهیان برابر ۰/۰۵±۰/۷۵ گرم بود. در تغییر وزن، سختی و اثر متقابل دما×pH اثر بیش‌تری داشت که در اولین بازه زمانی، دمای بهینه ۲۶°c، pH برابر ۷/۵ و سختی برابر ۸/۲-۷/۹۷ و در دومین بازه، بهینه دما برابر ۲۵/۶۲-۲۵/۳۷°c، سختی ۸/۳۵-۸/۲ و pH برابر ۸/۲۵-۷/۵ ثبت شد. در مورد FCR، سختی بیش‌ترین تاثیر را داشت که برای داشتن کم‌ترین میزان آن، دمای بهینه ۲۷/۶۷°c، سختی ۸-۷/۶۵ و pH برابر ۸-۶/۷ ثبت گردید. هم‌چنین، در مورد رشد طولی، هیچ‌کدام از معادلات خطی، درجه دو و مکعب، نشان‌دهنده رشد طولی ماهی ماکرو نبودند.

نتیجه‌گیری و بحث: لذا نتایج این پژوهش، شرایط بهینه پرورش را با توجه به سه پارامتر نام برده، برای این گونه معرفی نمود.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Nargess_Mooraki@Yahoo.com

تاریخ دریافت: ۵ دی ۱۳۹۹؛ تاریخ داوری: ۹ بهمن ۱۳۹۹؛ تاریخ اصلاح: ۴ فروردین ۱۴۰۰؛ تاریخ پذیرش: ۷ اردیبهشت ۱۴۰۰
(DOI): 10.22034/AEJ.2021.280409.2494

مقدمه

امروزه آکواریوم و ماهیان زینتی به‌خوبی توانسته‌اند در این دنیای صنعتی، جای خود را در خانه‌های مردم باز کنند، به‌طوری‌که این شاخه ازعلم شیلات به یک صنعت بزرگ و تجارتی سودآور تبدیل شده است (Ghosh، ۲۰۰۸). از آن‌جایی‌که اهمیت اقتصادی ماهیان آکواریومی کم‌تر از ماهیان خوراکی نیست و با توجه به استقبال و مقبولیت بالای جامعه‌در نگه‌داری این ماهیان، امروزه تلاش‌های روزافزونی در راستای نزدیک کردن مقادیر پارامترهای محیطی رشد، نظیر میزان اسیدیته و سختی آب، به مقادیر بهینه پرورش این ماهیان صورت گرفته است (شیخیان، ۱۳۸۵). ماهیان آب شیرین در نواحی گرمسیری دارای زیستگاه‌های مختلفی هستند، از جویبارهای کوهستانی با جریان‌های تند تا رودخانه‌های جنگلی با جریانات آرام. به‌دلیل عوامل محیطی، ترکیبات آب هر زیستگاه، شرایط خاص خود را دارد (Boruchowitz، ۲۰۰۳). وقتی ماهی را از محیط طبیعی آن به محیط آکواریوم منتقل می‌کنیم، باید شرایط محیط آب آکواریوم را به شرایط محیط طبیعی نزدیک کنیم. پس داشتن اطلاعاتی در زمینه شیمی آب به‌ویژه pH و سختی آب امری الزامی به‌شمار می‌رود (لهراسبی، ۱۳۸۸). با این وجود، متاسفانه نظارت دقیقی بر میزان این پارامترها و تلاش برای بهینه‌سازی آن‌ها، در کارگاه‌های پرورشی صورت نمی‌گیرد که یکی از دلایل آن، بحث هزینه و در دسترس نبودن منابع آب و انرژی کافی و در نتیجه، داشتن ملاحظات اقتصادی می‌باشد. با توجه به این‌که سالیانه هزینه زیادی صرف پرورش و نگه‌داری ماهیان زینتی می‌شود، لازم است که پارامترهای‌محیطی‌رشد، اندازه‌گیری شده و ترکیب مؤثر و بهینه با لحاظ فاکتور اقتصادی تعیین گردد تا بتوان در هزینه‌های در گردش کارگاه‌های پرورشی نظیر هزینه‌های خوراک و انرژی، صرفه‌جویی کرد(شیخیان، ۱۳۸۵). ازجمله زیباترین‌ماهیان‌آب‌شیرین، خانواده سیکلیده (Cichlidae) از راسته سوف‌ماهی‌سانان، به‌خصوص سیکلیدهای ساکن دریاچه مالاوی واقع در شرق آفریقا هستند که به‌واسطه زیبایی، تکثیر و پرورش آسان، مقاومت بالا و توان سازگاری با شرایط آکواریوم، بسیار پرطرفدار بوده و از این‌رو دارای ارزش اقتصادی بالایی می‌باشند (لهراسبی، ۱۳۸۸). هدف این تحقیق، ثبت داده‌های مربوط به طول و وزن ماهی ماکرو، یکی از پرطرف‌دارترین گونه‌های این خانواده، در دو بازه زمانی ۱ تا ۲۵ روز و ۲۵ تا ۴۰ روز، و تعیین میزان بهینه پارامترهای محیطی دما، اسیدیته و سختی آب است. پیش از این، تعدادی از محققان، در رابطه با میزان بهینه این پارامترهای محیطی برای ماهی ماکرو، مقادیری ارائه داده‌اند، از آن جمله، پارامترهای کیفی آب برای نگه‌داری ماکرو در اسارت، دمای ^{c}۲۸-۲۲، سختی ppm ۳۰۰-۲۰۰ (dKH ۱۱/۱۶-۲/۸) و pH ۸/۸-۵/۶ معرفی شده است (Konings، ۲۰۱۶). در منابعی دیگر، بهینه دما، ^{c}۲۹/۱-۲۳/۶ و pH، ۸/۹-۷/۸ (Kucuk و همکاران، ۲۰۱۹) و نیز دامنه دمایی بهینه برای ماکرو ^{c}۲۶-۲۳ بیان گردیده است (Daniel Pauly و Rainer Froese، ۲۰۱۸). هم‌چنین مطالعات Ruffer (۲۰۰۷) مشخص نمود که دمای لازم برای پرورش و رشد نوزادان ماکرو، ^{c}۲۷ است. Anchor (۲۰۰۵) دمای مناسب را ^{c}۲۷-۲۳ به‌دست آورد. در همین راستا، Baensch و Riehl (۱۹۹۴)، دمای بهینه را ^{c}۲۸-۲۶ و pH مناسب را بیش‌تر از ۷ درنظر گرفته‌اند. در تحقیق حاضر، تعیین شرایط بهینه پرورش ماهی ماکرو در ترکیب‌های مختلف محیطی با توجه به سه فاکتور دما، درجه سختی کربنات و اسیدیته‌آب، به تفکیک پارامترهای رشد و مقایسه این پارامترها با یک‌دیگر در ترکیب‌های مختلف و درنهایت تعیین معادلات بهینه رشد، انجام شده است.

مواد و روش‌ها

در ۱۴ آکواریوم ۲۸ لیتری، ترکیبی از سه عامل دما، pH و dKH با استفاده از طراحی آزمایشات با نرم‌افزار Design Expert ۷,۰ با روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی به‌روش معادله درجه دو صورت گرفت و در مجموع ۱۴ ترکیب (۱۴ تیمار) و برای هر تیمار ۳ تکرار تنظیم گردید، بدین منظور، در هر آکواریوم، ۳ قطعه بچه ماهی ماکرو با میانگین وزنی ۰/۰۵±۰/۳۱ گرم به‌صورت تصادفی قرار داده شده و با غذای گرانوله برند تجاری Coppens باسایز ۰/۳-۰/۲ میلی‌متر، مناسب سایز دهان بچه‌ماهیان، به‌صورت روزانه در دو نوبت صبح و بعد از ظهر به‌میزان ۵ درصد وزن زنده، غذادهی شدند. تیمارها به‌شرح جدول ۱ می‌باشد:

جدول ۱: تیمارهای انتخابی مطابق طرح مرکب مرکزی برای نگه‌داری ماهیان

تیمار	دما (°C)	سختی کربنات(dKH)	اسیدیته ($-\log_{10}[H^+]$)
۱	۲۳	۶	۶
۲	۲۶	۹	۷/۵
۳	۲۶	۷	۷/۵
۴	۲۶	۷	۶
۵	۲۲	۷	۷/۵
۶	۲۳	۹	۹
۷	۲۹	۹	۶
۸	۲۶	۷	۹
۹	۲۶	۷	۷/۵
۱۰	۲۶	۷	۷/۵
۱۱	۳۰	۷	۷/۵
۱۲	۲۶	۵	۷/۵
۱۳	۲۶	۷	۷/۵
۱۴	۲۹	۶	۹

دمای مورد نیاز هر آکواریوم، توسط بخاری‌های اتوماتیک فراهم شد و برای افزایش و کاهش مقادیر dKH و pH، از محلول‌های تجاری آماده استفاده گردید. در ابتدای دوره و پس از پایان دو بازه زمانی ۱ تا ۲۵ روز و ۲۵ تا ۴۰ روز، زیست‌سنجی شامل اندازه‌گیری وزن و طول بدن، صورت گرفته و پارامترهای رشد شامل افزایش وزن (WG)، افزایش طول (LG) و ضریب تبدیل غذایی (FCR) محاسبه گردید.

افزایش وزن (Yanbo و Zirong، ۲۰۰۶) $WG\ (g) = W_f - W_i$

W_i= وزن اولیه (گرم)، W_f= وزن نهایی (گرم)

افزایش طول (Yanbo و Zirong، ۲۰۰۶) $LG\ (cm) = L_f - L_i$

L_i= طول اولیه (سانتی‌متر)، L_f= طول نهایی (سانتی‌متر)

ضریب تبدیل غذایی (De silva و Anderson، ۱۹۹۵) $FCR = F/WG$

F= مقدار غذای مصرفی (گرم)، WG= افزایش وزن (گرم)

جدول ۲: سطوح اندازه‌گیری متغیرهای دما، pH و سختی

متغیر	نماد	حد بالا	حد پایین
دما (°C)	A	۲۳	۲۹
pH ($-\log_{10}[H^+]$)	C	۶	۹
سختی کربنات (dKH)	B	۵	۹

نتایج پارامترهای رشد، با استفاده از نرم‌افزار Design Expert۷٫۰، تحلیل و مدل ریاضی برازش شده برای نمایش الگوی تغییر هر پارامتر، تعیین شده و آزمون عدم تطابق برای تایید مدل مربوطه، انجام گرفته و تحلیل آماری مدل و نیز تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) آن صورت گرفت و معادله پاسخ هرکدام از پارامترهای رشد در هر بازه زمانی، مشخص شد و در نهایت، نمودارهای مربوط به اثر هر متغیر به صورت مجزا و نمودارهای اثرات متقابل (Interaction effect) آن‌ها ارائه گردید.

نتایج

افزایش وزن (WG): مدل ریاضی برازش شده برای افزایش وزن ماکرو در بازه زمانی اول و دوم، معادله درجه دوم است. آزمون عدم تطابق برای این معادله، نشان داد که در بازه زمانی اول P=۰/۰۸۶۵ و طبق جدول ۳، مقدار F به‌دست آمده برای مدل معادل ۱۳/۴۲ است. در بازه زمانی دوم نیز P=۰/۹۱۲۲ و با توجه به جدول ۴، مقدار F به‌دست آمده برای مدل ۶۰/۰۶ است که نشان‌دهنده معنی‌دار بودن مدل در هردو بازه زمانی می‌باشد. مقادیر احتمال (prob>F) کم‌تر از ۰/۰۵ نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اجزاء معادله است و طبق جدول ۳، فاکتورهای B، C، A2، B2 و C2 در بازه اول، و طبق جدول ۴، فاکتورهای AB، AC، B، C، A2، B2 و C2 در بازه دوم، کم‌تر از ۰/۰۵ هستند که نشان‌دهنده معنی‌دار بودن این عناصر است. مقادیر F برای بررسی عدم تطابق مدل نیز در بازه اول، معادل ۶/۳۳ و در بازه دوم معادل ۰/۰۱ به‌دست آمد که نشان‌دهنده معنی‌دار نبودن Lack of fit و معنی‌دار بودن مدل به‌دست آمده برای افزایش وزن در هردو بازه است. معادله پاسخ افزایش وزن در بازه زمانی اول، رابطه (۱) و در بازه زمانی دوم، رابطه (۲) می‌باشد:

جدول ۳: تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) مدل درجه دوم افزایش وزن ماکرو در بازه زمانی اول

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	۰/۰۴۵	۹	۴/۹۵۷-۰۰۳	۱۳/۴۲	۰/۰۱۲ significant
A-Temperature	۵/۰۰۰-۰۰۵	۱	۵/۰۰۰-۰۰۵	۰/۱۴	۰/۷۳۲
B-Hardness	۸/۴۵۰-۰۰۳	۱	۸/۴۵۰-۰۰۳	۲۲/۸۸	۰/۰۰۹
C-pH	۷/۲۰۰-۰۰۳	۱	۷/۲۰۰-۰۰۳	۱۹/۵۰	۰/۰۱۲
AB	۶/۰۷۴-۰۰۴	۱	۶/۰۷۴-۰۰۴	۱/۶۴	۰/۲۶۹
AC	۱/۹۱۷-۰۰۳	۱	۱/۹۱۷-۰۰۳	۵/۱۹	۰/۰۸۵
BC	۶/۸۷۱-۰۰۴	۱	۶/۸۷۱-۰۰۴	۱/۸۶	۰/۲۴۴
A2	۸/۱۸۵-۰۰۳	۱	۸/۱۸۵-۰۰۳	۲۲/۱۶	۰/۰۰۹
B2	۸/۱۸۵-۰۰۳	۱	۸/۱۸۵-۰۰۳	۲۲/۱۶	۰/۰۰۹
C2	۰/۰۱۲	۱	۰/۰۱۲	۳۳/۲۳	۰/۰۰۴
Residual	۱/۴۷۷-۰۰۳	۴	۳/۶۹۳-۰۰۴		
Lack of Fit	۱/۰۰۲-۰۰۳	۱	۱/۰۰۲-۰۰۳	۶/۳۳	۰/۰۸۶ not significant
Pure Error	۴/۷۵۰-۰۰۴	۳	۱/۵۸۳-۰۰۴		

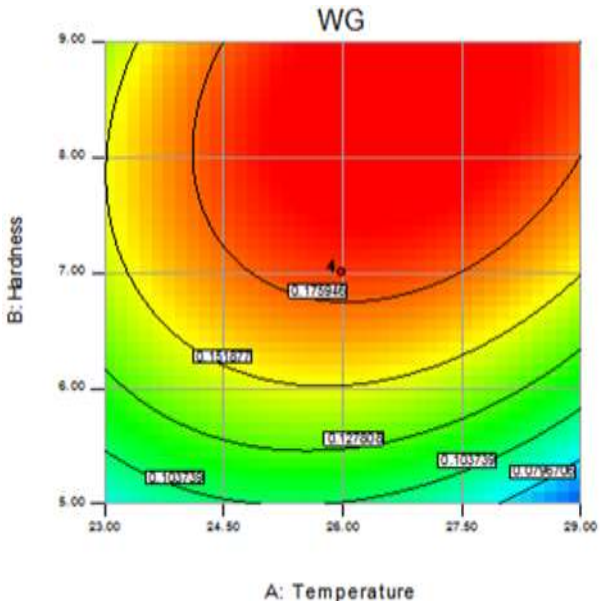
جدول ۴: تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) مدل درجه دوم افزایش وزن ماکرو در بازه زمانی دوم

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	۰/۰۶۴	۹	۷/۱۶۶-۰۰۳	۶۰/۰۶	۰/۰۰۱ significant
A-Temperature	۵/۰۰۰-۰۰۵	۱	۵/۰۰۰-۰۰۵	۰/۴۲	۰/۵۵۳
B-Hardness	۰/۰۱۳	۱	۰/۰۱۳	۱۰۷/۲۸	۰/۰۰۱
C-pH	۰/۰۱۴	۱	۰/۰۱۴	۱۲۱/۱۰	۰/۰۰۱
AB	۲/۱۲۶-۰۰۳	۱	۲/۱۲۶-۰۰۳	۱۷/۸۲	۰/۰۱۳
AC	۳/۸۸۴-۰۰۳	۱	۳/۸۸۴-۰۰۳	۳۲/۵۵	۰/۰۰۵
BC	۱/۶۰۷-۰۰۴	۱	۱/۶۰۷-۰۰۴	۱/۳۵	۰/۳۱۰
A2	۰/۰۱۱	۱	۰/۰۱۱	۹۳/۹۲	۰/۰۰۱
B2	۰/۰۱۶	۱	۰/۰۱۶	۱۳۳/۴۱	۰/۰۰۱
C2	۰/۰۱۱	۱	۰/۰۱۱	۹۳/۹۲	۰/۰۰۱
Residual	۴/۷۷۳-۰۰۴	۴	۱/۱۹۳-۰۰۴		
Lack of Fit	۲/۲۷۳-۰۰۶	۱	۲/۲۷۳-۰۰۶	۰/۰۱۴	۰/۹۱۲ not significant
Pure Error	۴/۷۵۰-۰۰۴	۳	۱/۵۸۳-۰۰۴		

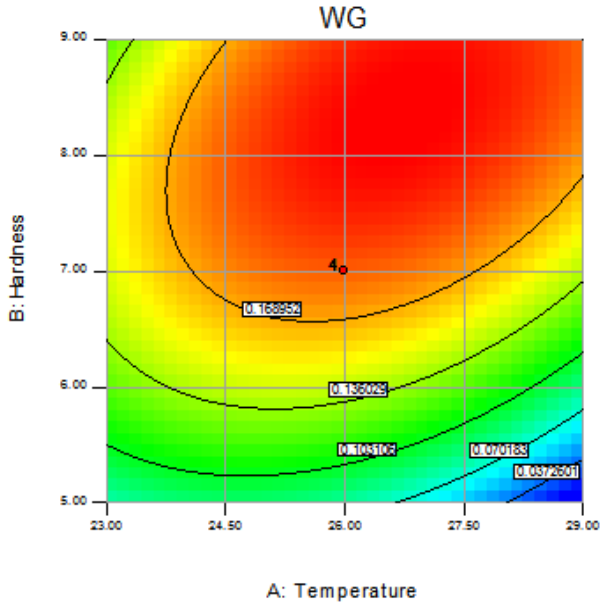
$$WG = -1.97 + 0.12 \times T + 0.01 \times KH + 0.07 \times pH + 2.90\ (T\times KH) + 6.88\ (pH\times T) + 6.17\ (pH\times KH) - 3.71 \times T^2 - 8.35 \times KH^2 - 0.01 \times pH^2 \quad (۱)$$

$$WG = -1.71 + 0.11 \times T + 0.02 \times KH + 0.02 \times pH + 5.43\ (T\times KH) + 9.79\ (pH\times T) + 2.98\ (pH\times KH) - 4.34 \times T^2 - 0.01 \times KH^2 - 0.02 \times pH^2 \quad (۲)$$

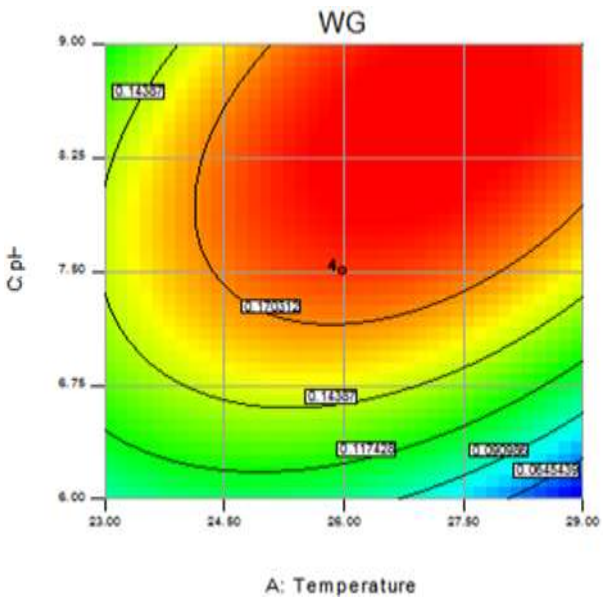
در معادله پاسخ، پارامترهای با ضریب مثبت، رابطه مستقیم و پارامترهای با ضریب منفی، رابطه عکس با افزایش وزن دارند. نمودارهای مربوط به اثر هر متغیر به‌صورت مجزا و نمودارهای اثرات متقابل (Interaction effect) آن‌ها، برای بررسی اثر سه متغیر بر افزایش وزن ماهی ماکرو در بازه زمانی اول و دوم، ارائه شده است.



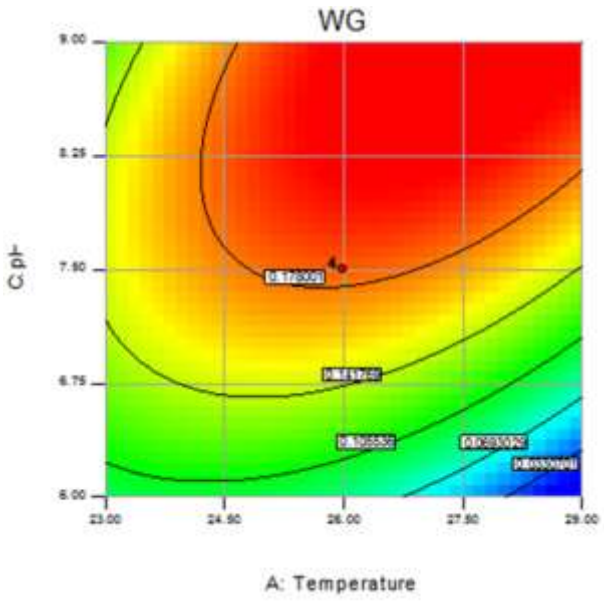
شکل ۱: نمودار دو بعدی متغیر دما و سختی برای تعیین نقطه بهینه pH در افزایش وزن ماهی ماکرو در بازه زمانی اول



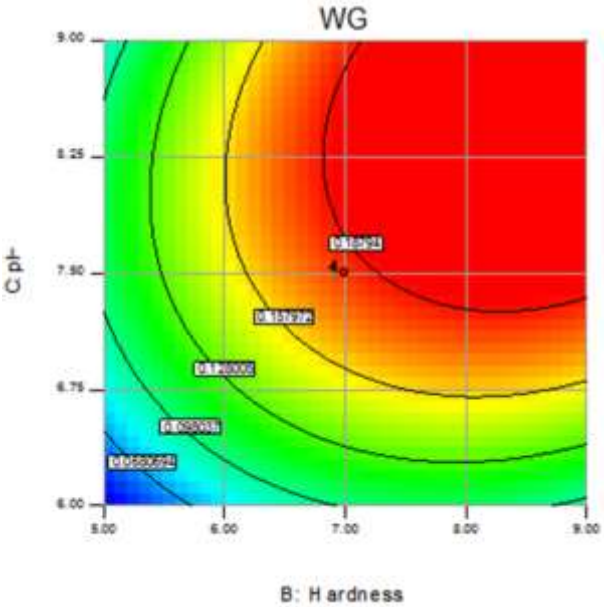
شکل ۲: نمودار دو بعدی متغیر دما و سختی برای تعیین نقطه بهینه pH در افزایش وزن ماهی ماکرو در بازه زمانی دوم



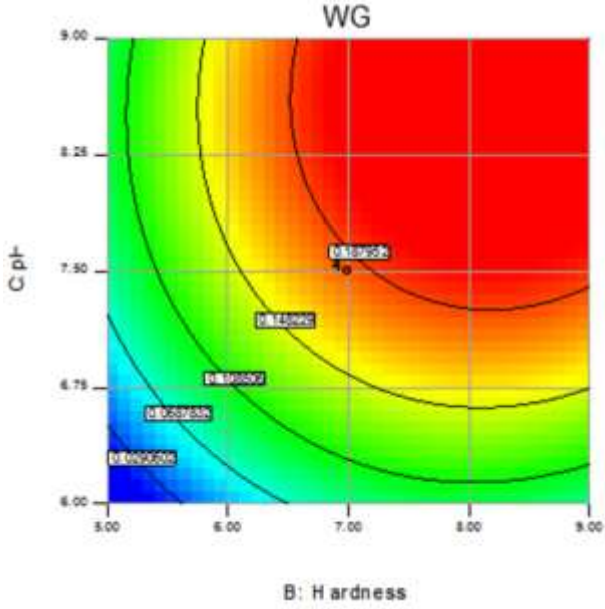
شکل ۳: نمودار دو بعدی متغیر دما و pH برای تعیین نقطه بهینه سختی در افزایش وزن ماهی ماکرو در بازه زمانی اول



شکل ۴: نمودار دو بعدی متغیر دما و pH برای تعیین نقطه بهینه سختی در افزایش وزن ماهی ماکرو در بازه زمانی دوم



شکل ۵: نمودار دو بعدی متغیر سختی و pH برای تعیین نقطه بهینه دما در افزایش وزن ماهی ماکرو در بازه زمانی اول



شکل ۶: نمودار دو بعدی متغیر سختی و pH برای تعیین نقطه بهینه دما در افزایش وزن ماهی ماکرو در بازه زمانی دوم

FCR: مدل ریاضی برازش شده برای FCR ماکرو در بازه زمانی اول و دوم، معادله درجه دوم است.

آزمون عدم تطابق برای این معادله، نشان داد که در بازه زمانی اول P=۰/۱۰۵۶ و طبق جدول ۵، مقدار F به‌دست آمده برای مدل معادل ۵/۵۷ است. در بازه زمانی دوم نیز P=۰/۲۳۴۲ و با توجه به جدول ۶، مقدار F به‌دست آمده برای مدل ۱۸/۶۶ است که نشان‌دهنده معنی‌دار بودن مدل در هر دو بازه زمانی می‌باشد. مقادیر احتمال (prob>F) کم‌تر از ۰/۰۵ نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اجزاء معادله است و طبق جدول ۵، فاکتورهای A^2، B^2 و C^2 در بازه اول، و طبق جدول ۶، فاکتورهای B، C، AC، BC، A^2، B^2 و C^2 در بازه دوم، کم‌تر از ۰/۰۵ هستند که نشان‌دهنده معنی‌دار بودن این عناصر است. مقادیر F برای بررسی عدم تطابق مدل نیز در بازه اول، معادل ۵/۲۶

و در بازه دوم معادل ۲/۲۱ به‌دست آمد که نشان‌دهنده معنی‌دار نبودن Lack of fit و معنی‌دار بودن مدل به‌دست آمده برای FCR در هردو بازه است. معادله پاسخ FCR در بازه زمانی اول، رابطه (۳) و در بازه زمانی دوم، رابطه (۴) می‌باشد:

$$FCR = 40.96 - 2.43 \times T - 1.62 \times KH - 0.20 \times pH + 0.05\ (T \times KH) - 0.079\ (pH \times T) - 0.20\ (pH \times KH) + 0.05 \times T^2 + 0.104 \times KH^2 + 0.24 \times pH^2 \quad (۳)$$

$$FCR = 25.88 - 1.40 \times T - 2.52 \times KH - 1.47 \times pH + 0.05\ (T \times KH) - 0.16\ (pH \times T) - 0.18\ (pH \times KH) + 0.04 \times T^2 + 0.14 \times KH^2 + 0.26 \times pH^2 \quad (۴)$$

جدول ۵: تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) مدل درجه دوم FCR ماکرو در بازه زمانی اول

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	۷/۳۵	۹	۰/۸۲	۵/۵۷	۰/۰۵۷ not significant
A-Temperature	۰/۰۲۹	۱	۰/۰۲۹	۰/۲۰	۰/۶۸۰
B-Hardness	۰/۸۷	۱	۰/۸۷	۵/۹۲	۰/۰۷۲
C-pH	۰/۰۸۳	۱	۰/۰۸۳	۰/۵۷	۰/۴۹۳
AB	۰/۲۳	۱	۰/۲۳	۱/۵۷	۰/۲۷۹
AC	۰/۲۶	۱	۰/۲۶	۱/۷۶	۰/۲۵۶
BC	۰/۷۶	۱	۰/۷۶	۵/۱۹	۰/۰۸۵
A2	۱/۴۹	۱	۱/۴۹	۱۰/۱۹	۰/۰۳۳
B2	۱/۲۹	۱	۱/۲۹	۸/۷۷	۰/۰۴۱
C2	۲/۱۷	۱	۲/۱۷	۱۴/۷۸	۰/۰۱۸
Residual	۰/۵۹	۴	۰/۱۵		
Lack of Fit	۰/۳۷	۱	۰/۳۷	۵/۲۶	۰/۱۰۵ not significant
Pure Error	۰/۲۱	۳	۰/۰۷۱		

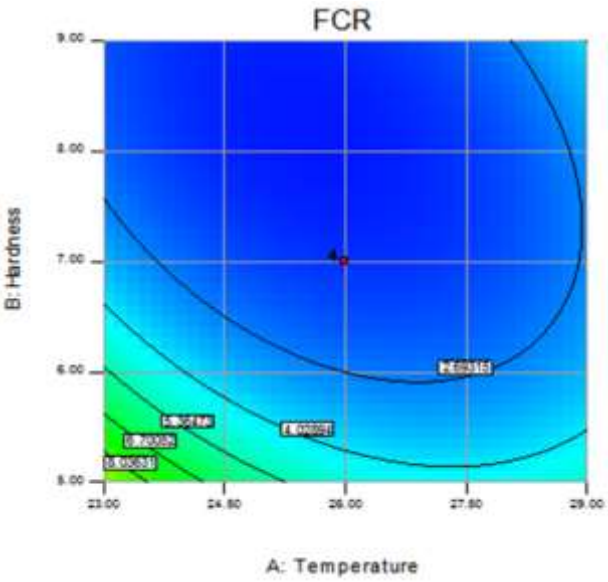
جدول ۶: تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) مدل درجه دوم FCR ماکرو در بازه زمانی دوم

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	۱۱/۱۲	۹	۱/۲۴	۱۸/۶۶	۰/۰۰۶ significant
A-Temperature	۰/۰۱۱	۱	۰/۰۱۱	۰/۱۶	۰/۷۰۹
B-Hardness	۲/۳۱	۱	۲/۳۱	۳۴/۸۷	۰/۰۰۴
C-pH	۰/۵۱	۱	۰/۵۱	۷/۷۴	۰/۰۴۹
AB	۰/۲۵	۱	۰/۲۵	۳/۷۴	۰/۱۲۵
AC	۱/۱۲	۱	۱/۱۲	۱۶/۹۷	۰/۰۱۵
BC	۰/۶۲	۱	۰/۶۲	۹/۴۳	۰/۰۳۷
A2	۱/۰۹	۱	۱/۰۹	۱۶/۴۸	۰/۰۱۵
B2	۲/۴۳	۱	۲/۴۳	۳۶/۷۶	۰/۰۰۴
C2	۲/۵۴	۱	۲/۵۴	۳۸/۴۱	۰/۰۰۳
Residual	۰/۲۶	۴	۰/۰۶۶		
Lack of Fit	۰/۱۱	۱	۰/۱۱	۲/۲۱	۰/۲۳۴ not significant
Pure Error	۰/۱۵	۳	۰/۰۵۱		

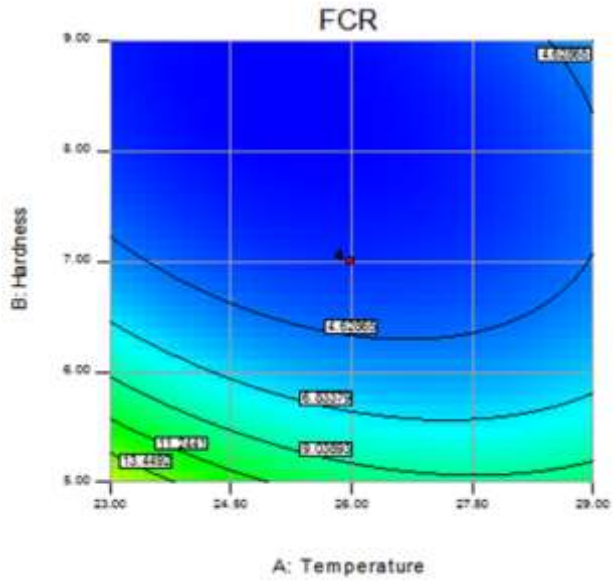
جدول ۷: ضریب تبدیل غذایی برای ماکرو در ۱۴ تیمار در بازه زمانی اول و دوم

تیمارها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
بازه اول	۸/۷۵	۱/۶۸	۱/۰۵	۵/۸	۴/۵۸	۳/۱۶	۱۴/۵	۴	۲/۶۱	۲/۴۳	۳/۶۱	۶/۸۳	۱/۸۹	۹/۳۳
بازه دوم	۱۳/۶۶	۳/۲۷	۲/۵۵	۱۱/۶۶	۶/۶۳	۵/۰۹	۲۲	۵/۷۷	۴/۶۱	۳/۶۶	۵/۹	۱۵/۶۶	۳/۵	۱۰/۸۳

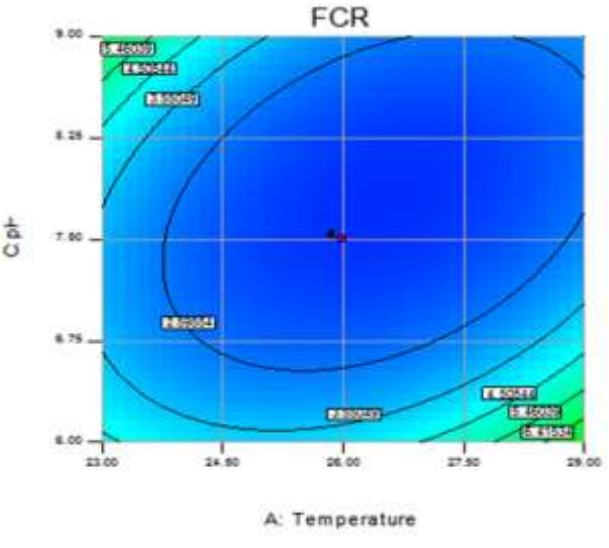
پارامترهای با ضریب مثبت، رابطه مستقیم و پارامترهای با ضریب منفی، رابطه عکس با افزایش وزن دارند. نمودارهای مربوط به اثر هر متغیر به‌صورت مجزا و نمودارهای اثرات متقابل آن‌ها، برای بررسی اثر سه متغیر بر FCR ماکرو در بازه زمانی اول و دوم، ارائه شده است.



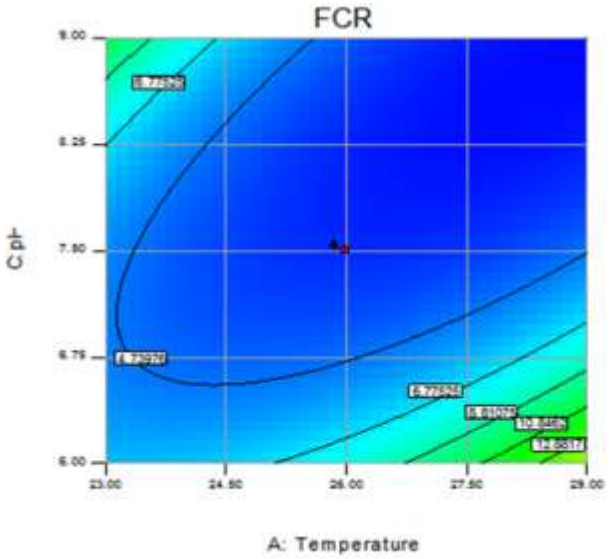
شکل ۷: نمودار دو بعدی متغیر دما و سختی برای تعیین نقطه بهینه pH در FCR ماهی ماکرو در بازه زمانی اول



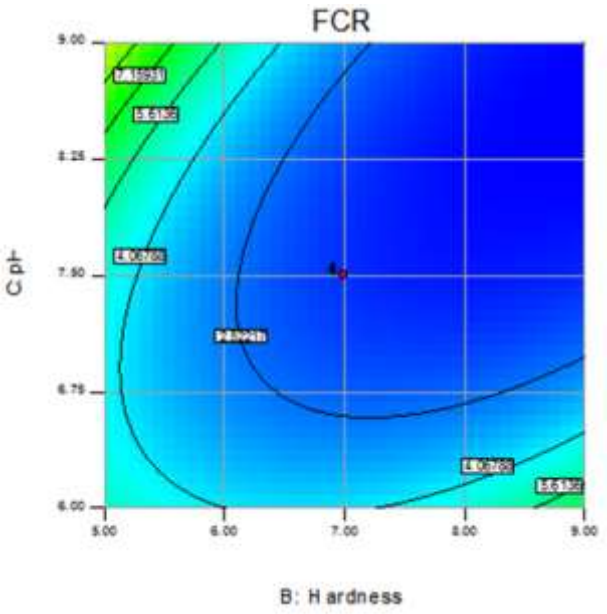
شکل ۸: نمودار دو بعدی متغیر دما و سختی برای تعیین نقطه بهینه pH در FCR ماهی ماکرو در بازه زمانی دوم



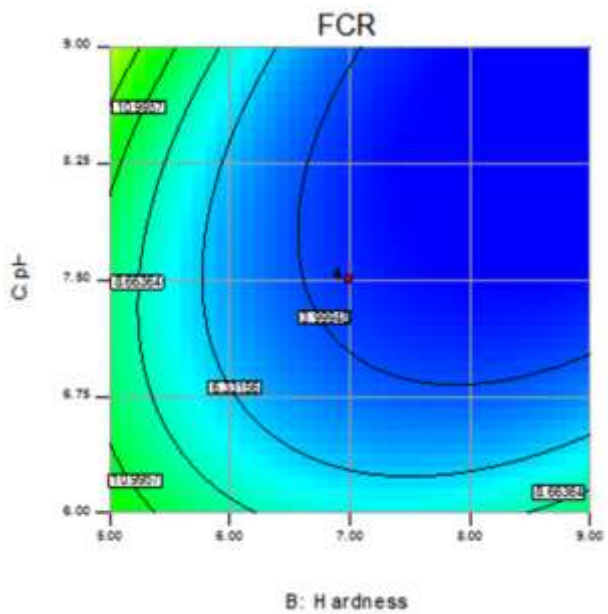
شکل ۹: نمودار دو بعدی متغیر دما و pH برای تعیین نقطه بهینه سختی در FCR ماهی ماکرو در بازه زمانی اول



شکل ۱۰: نمودار دو بعدی متغیر دما و pH برای تعیین نقطه بهینه سختی در FCR ماهی ماکرو در بازه زمانی دوم



شکل ۱۱: نمودار دو بعدی متغیر سختی و pH برای تعیین نقطه بهینه دما در FCR ماهی ماکرو در بازه زمانی اول



شکل ۱۲: نمودار دو بعدی متغیر سختی و pH برای تعیین نقطه بهینه دما در FCR ماهی ماکرو در بازه زمانی دوم

افزایش طول (LG): مدل ریاضی برازش شده برای افزایش طول در بازه زمانی اول و دوم، معادله درجه دوم است. آزمون عدم تطابق برای این معادله نشان داد که در بازه اول P=۰/۰۲۵۴ و در بازه دوم P=۰/۰۳۳ است که نشان‌دهنده مناسب نبودن مدل انتخاب شده می‌باشد. از این‌رو، الگوی رشد ماهی براساس افزایش طول، توجیه ندارد.

بحث

بررسی الگوی رشد در دو بازه زمانی تعیین شده، نشان داد که بهترین حالت نمایش تغییرات وزن، معادله درجه دوم است. متغیر سختی و پس از آن، اثر متقابل دما × pH، تاثیر قابل توجه و معنی‌داری بر افزایش وزن دارند (Froese و Pauly، ۲۰۱۳).در معادله‌های به‌دست آمده، ضرایب مثبت، نشان‌دهنده رابطه مستقیم و ضرایب منفی، نشان دهنده رابطه عکس می‌باشند و بر همین اساس، افزایش وزن با دما، pH، سختی و نیز با اثرات متقابل هر سه فاکتور، در هر دو بازه زمانی، رابطه مستقیم دارد (Svelue، ۲۰۰۳). در پایان دوره، میانگین وزنی ماهیان برابر ۰/۰۵±۰/۷۵ گرم بود. در اولین بازه زمانی رشد، دمای بهینه ۲۶°c، pH برابر ۷/۵ و سختی برابر با ۸/۲-۷/۹۷ گزارش شد و در دومین بازه نگه‌داری، بازه بهینه دما برابر با ۲۵/۶۲-۲۵/۳۷°c، سختی ۸/۳۵-۸/۲ و pH برابر ۸/۲۵-۷/۵ ثبت شد. در بررسی الگوی رشد ماهی ماکرو براساس پارامتر طول، هیچ‌کدام از معادلات خطی، درجه دو و مکعب با توجه به آزمون عدم تطابق، مؤید نحوه رشد این گونه در بازه ۴۰ روزه نگه‌داری نبودند و با توجه به p-value که در بازه اول برابر ۰/۰۲۵۴ و در بازه دوم برابر با ۰/۰۳۳ بود، الگوی رشد ماهی براساس افزایش طول، توجیه ندارد. با بررسی ضریب تبدیل غذایی این گونه در طول ۴۰ روز نگه‌داری در تیمارهای متفاوت دما، سختی و pH مشخص شد که الگوی تغییرات، تابع معادله درجه دوم است و اثر سختی بر آن، از دو متغیر دیگر بیش‌تر می‌باشد. هم‌چنین FCR با اثر متقابل دما × سختی رابطه مستقیم داشته ولی با دما، pH، سختی و نیز با اثر متقابل دما × pH و سختی × pH در هر دو بازه زمانی، رابطه عکس دارد (Kucuk و همکاران، ۲۰۱۹). نقطه بهینه ۲۷/۶۷°c برای دما، ۸-۷/۶۵ برای سختی و ۸-۶/۷ برای pH ثبت گردید. مرادی و لهراسبی (۱۳۸۸) در کتاب اطلس ماهیان آب شیرین، با بیان این‌که pH آب دریاچه مالاوی برابر با ۸/۶-۷/۴ است، عنوان کردند: در صورت تمایل به نگه‌داری از ماهیان ساکن این دریاچه، بهتر است سطح pH آب بین ۸/۲ تا ۸/۴ حفظ شود. که این موضوع، قابل تعمیم

به ماهی ماکرو بوده و با مقادیر pH در نتایج این تحقیق، هماهنگی دارد. Konings (۲۰۱۶)، پارامترهای کیفی آب را برای نگه‌داری این گونه‌در اسارت، دمای ۲۸-۲۲ °c، سختی ppm ۳۰۰-۲۰۰(۱۲/۸-۱۱/۶ dKH) و pH برابر ۸/۶-۸/۵ معرفی کرده‌است که به لحاظ دمایی، با اعداد به‌دست آمده در این تحقیق، هم‌سو می‌باشد. از طرفی، سایت theaquariumwiki.com، برای ماکرو، میزان pH را ۸/۶-۷/۵، سختی آب را ۱۵-۱۰ درجه و دما را ۲۸-۲۲ °c بیان داشته که به لحاظ میزان pH، با نتایج تحقیق برای افزایش وزن، منطبق بوده و به لحاظ دمای بهینه کاملاً مطابقت دارد، ولی از نظر میزان سختی آب، متفاوت است. Kucuk و همکاران (۲۰۱۹)، مقادیر بهینه را برای دما، ۲۹/۱-۲۳/۶ °c وبرای pH، ۸/۹-۷/۸ عنوان کردند، در همین راستا، سایت wikipedia، میزان دما را ۲۶-۲۳ °c و pH را ۸/۹-۷/۸ اعلام کرده‌است که با pH و دمای بهینه برای افزایش وزن در تحقیق حاضر، تقریباً مشابه است. Froese و Pauly (۲۰۱۸)، دامنه‌دمایی بهینه را ۲۶-۲۳ °c عنوان کردند که با میزان دمای به‌دست‌آمده برای افزایش وزن در این تحقیق، مطابق است. هم‌چنین Boruchowitz (۲۰۰۳) دمای بهینه را ۷۹-۷۵ درجه فارنهایت (۲۹/۱-۲۳/۶ °c) و دامنه pH را ۸/۸-۷/۲ عنوان نموده است که با دما و pH به‌دست‌آمده برای WG، هم‌راستا می‌باشند. Hargrove و Hargrove (۲۰۱۱) دمای مناسب را برای ماکرو ۸۲-۷۲ درجه فارنهایت (۲۲/۷۷-۲۲/۲۷ °c) عنوان کرده است که با دماهای به‌دست آمده در این مطالعه، موافق است. Baensch و Riehl (۱۹۹۴)، دمای بهینه را ۲۸-۲۵ °c و pH مناسب را بیش‌تر از ۷ درنظر گرفته‌اند که به لحاظ pH، تقریباً با مقادیر به‌دست آمده در این تحقیق، هم‌سو بوده و به لحاظ دمایی، با اعداد به‌دست آمده، مطابقت دارد.

در این تحقیق سعی شد تا با توجه به اهمیت ویژه‌ای که هریک از فاکتورهای پرورشی بر سلامت و رشد آبزیان، افزایش بازده تولید و صرفه‌جویی در انرژی و هزینه‌ها ایفا می‌کند، با تعیین مقادیر بهینه پارامترهای محیطی، موفقیت در مدیریت سیستم‌های تکثیر و پرورش و پیش‌برد اهداف صنعت آبزی‌پروری کشور را تضمین کرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند، از زحمات تمام کسانی که ایشان را در انجام این تحقیق یاری نمودند، سپاس‌گزاری نمایند.

منابع

۱. **شیخیان، م.، ۱۳۸۵.** زندگی ماهیان آکواریوم. انتشارات مؤلف. صفحات ۶۸ تا ۷۰.

۲. **شیخیان، م.، ۱۳۸۵.** ماهیان سیچلاید. انتشارات مؤلف. صفحات ۱۰ تا ۱۸.

۳. **مرادی، ح. و لهراسبی، س.، ۱۳۸۸.** اطلس ماهیان آب شیرین. انتشارات علمی آبزیان. صفحات ۵۱ تا ۷۳.

4. **Anchor, T.; Fitzcoy, S.A. and Thunberg, E.M., 2005.** United States of America trade in ornamental fish. Journal of the world Aquaculture Society. Vol. 28, pp: 1-10.

5. **Baensch, H.A. and Riehl, R., 1994.** Baensch Aquarium Atlas. Vol. 2, 15 p.

6. **Baldisserotto, B. and Miguel Mancera, J., 2019.** Effect of water pH and hardness on survival and growth of fresh water teleosts. Fish Osmoregulation. pp: 142-143.

7. **Boruchowitz, D.E., 2003.** The guide to owning Cichlids. T.F.H. publications, No. 9, Gent, Belgium. pp: 385-387.

8. **De Silva, S.S. and Anderson, T.A., 1995.** Fish Nutrition in Aquaculture. Aquaculture Series, Chapman and Hall, Pub London Uk. pp: 319-320.

9. **Froese, R. and Pauly, D., 2013.** Checklist of the freshwater fishes of Africa. Fish Base online, April 2013 version. pp: 210-217.

10. **Ghosh, K. and Dhar, B., 2008.** Genetic assessment of ornamental fish species from North East India. Bamidgeh. Vol. 55, pp: 13-21.

11. **Hargrove, M. and Hargrove, M., 2011.** Freshwater aquarium for dummies. Vol. 1, 360 p.

12. **Konings, A., 2016.** Malawi Cichlids in their natural habitat. cichlid press. No 1, 432 p.

13. **Kucuk, S.; Midilli, S.; Guler, M. and Coban, D., 2019.** Histological changes of electric yellow cichlid (*Labidochromis caeruleus*) exposed to acute and chronic Cadmium concentrations. Turkish journal of agriculture-food science and technology. Vol. 7, No. 8, pp: 1216-1221.

14. **Ruffer, K.; Tamaru, C.S. and Fitzgerad, W.J., 2007.** Hatchery manual for the artificial propagation of ornamental fish. Guam Aquaculture Development and Training Center. pp: 143-150.

15. **Svelue, C.; Munuswany, A. and Tacon, G.J., 2003.** Standard methods for the nutrition and feeding of farmed fish and shrimp. Volume1. Argent Laboratories press, Redmond, Washington, USA. pp: 57-61.

16. **Yanbo, W. and Zirong, X., 2006.** Effect of probiotic for commom carp (*Cyprinus carpio*) based on growth performance and digestive enzymes activities. Journal of Animal feed science and technology. Vol. 127, pp: 283-285.