University of Guilan with collaboration of Iranian Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 10, No. 1, 2024, pages: 57-75
DOI: 10.22124/janb.2024.27411.1243

RESEARCH PAPER **OPEN ACCESS**

Investigating the hatchability and nauplii biometry of *Artemia franciscana* in unconventional waters of Sistan region, Southeast Iran

Hashem Khandan Barani*, Abdolali Rahdari, Narjes Sanchooli, Ali Khosravanizadeh
Department of Aquatic Sciences, Hamoun International Wetland Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Sistan and Baluchistan, Iran

Received 10 December 2023 Revised 07 March 2024 Accepted 10 March 2024

KEYWORDS
Artemia cyst
Live food
Sewage
Hatching

ABSTRACT

Introduction: Nowadays, using unconventional water, especially in arid and semi-arid areas, has increased as a result of global population increase, urbanization and climate change. Using these water sources for aquaculture is suggested for optimal utilization and reduction of their adverse effects on the environment. *Artemia* is an aquatic crustacean that is distributed all over the world. It plays an important role in the aquatic food chain due to containing a variety of high nutrients such as proteins, amino acids, fatty acids, vitamins and antioxidants. These organisms are the most common live-food item in the aquaculture industry to feed the larval stages of fish and crustaceans in different parts of the world. *Artemia* can grow in various saltwater environments. The water sources suitable for them do vary considerably in terms of ionic composition, climatic conditions, seasonality, productivity, altitude, and other characteristics. Among the species of the genus *Artemia*, *A. franciscana* is the most important one for aquaculture use, and it has been introduced in salt-waters for integrated *Artemia*–salt production. This species is characterized by the standard features of the short-life cycles: highly adaptable to adverse environmental conditions, easy cultivation and easy availability. The aim of this study was to investigate the feasibility of hatching and growth performances of *Artemia* (*A. franciscana*) in the unconventional water conditions in Sistan region, Southeast Iran under laboratory conditions.

Materials and methods: The present study was carried out in the Laboratory of Reproduction and Breeding Aquatic Animals, Hamoun International Wetland Research Institute located in Zabol Research Institute in February 2024. Hatching rate, growth performance (comparison of body length and width), abundance of each biological form and health (comparison of morphological

characteristics) of *A. franciscana* under breeding conditions of unconventional waters in Sistan region were investigated in this study. For this purpose, *Artemia* cysts were hatched in plastic jars using three replicated treatments, i.e., control (T_1; distilled water + sea salt; 35.37 ppt), desalination wastewater (T_2; 48.88 ppt), deep aquifer well water (T_3; 16.35 ppt), and well water (T_4; 28.46 ppt). All treatments were kept under standard conditions including temperature 27 °C, light 37 μmol/m^2/s as well as 12 hours light and 12 hours darkness (12L:12D) during the experimental period. After 48 h of incubation, the hatching rate of *Artemia* cysts was analyzed. In order to evaluate growth performance and health status, at least 30 specimens from each treatment were randomly selected and photographed, then body length and width were measured using Digimizer software. Water quality parameters including temperature, pH, salinity, ammonia, nitrate, nitrite, sulfate, hardness, Cl, Mg and Cu were recorded using standard methods during the experiment. All data obtained in this study were analyzed using One-Way ANOVA, followed by Tukey's test for any significant differences among the treatments. Pearson's correlation coefficient (r) was calculated for the statistical interpretation of the influence of the physicochemical variables on hatching rate and body length.

Results and discussion: The results showed that hatchability of cysts and body length of *Artemia* were significantly different among treatments ($p<0.05$). The highest value of 71.32 ± 5.41% was recorded in T_1 followed by 67.19 ± 4.28% in T_3, 51.19 ± 2.33% in T_4 and 47.81 ± 2.78% in T_2 on the 48 h after cyst incubation. The length (mm) of *Artemia* was higher (0.64 ± 0.06) in T_3 than in T_1 (0.62 ± 0.05), T_4 (0.59 ± 0.04) and T_2 (0.56 ± 0.05). Instar 2 was the dominant form in T_3 and T_4, while instar 2 was the dominant form in the other two treatments. The morphological characteristics of *Artemia* were similar and normal between all treatments. The results showed that although the hatchability of cysts was more affected by the breeding environment, the growth of *Artemia* in all the unconventional water treatments was suitable compared to the control treatment, and also the morphological characteristics of *Artemia* were normal in all treatments. Due to the occurrence of long-term droughts in Sistan region, the only opportunity for the continuation of aquaculture, especially in recent years, lies in the use of unconventional saline water resources in this region. So, the present study provides the first evidence of relatively favorable hatching and suitable initial growth of *Artemia* in unconventional saline waters, especially desalination wastewater, in Sistan region and shows that cultivation *Artemia* is biologically possible in the unconventional waters under laboratory conditions.

Conclusion: The data presented in this study generate the first useful information for the future inoculation of *Artemia* in unconventional waters (desalination wastewater, deep aquifer well water and well water) in Sistan, and hence domestic *Artemia* production in the country. However, further larger-scale laboratory work, followed by field trials, is still needed.

Funding: The authors thank the Research Institute of Zabol for funding this study (Number: PR-RIOZ-1402-8853-1).

Conflicts of interest: The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgments: The author would like to thank the helpful assistance offered by the laboratory staff in Aquatic Sciences Department of Research Institute of Zabol.

*Corresponding author: Hashem.barani@uoz.ac.ir

CC BY NC

دانشگاه گیلان با مشارکت انجمن آبزی‌پروری ایران

تغذیه آبزیان

سال دهم، شماره اول، فروردین ۱۴۰۳، صفحات ۷۵-۵۷

DOI: 10.22124/janb.2024.27411.1243

"مقاله پژوهشی"

بررسی میزان تخم‌گشایی و ریخت سنجی ناپلیوس‌های آرتمیا (*Artemia franciscana*) در آب‌های نامتعارف منطقه سیستان، جنوب شرقی ایران

هاشم خندان بارانی*، عبدالعلی راهداری، نرجس سنچولی، علی خسروانی‌زاده

گروه پژوهشی علوم آبزیان، پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون، پژوهشگاه زابل، زابل، سیستان و بلوچستان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

چکیده

در این مطالعه میزان تخم‌گشایی و ریخت‌سنجی ناپلیوس‌های آرتمیا (*Artemia franciscana*) در آب‌های ژرف منطقه سیستان در شرایط آزمایشگاهی بررسی شد. به این منظور، سیست‌ها در چهار تیمار (با سه تکرار) شامل ۱- آب مقطر + نمک دریا (شاهد؛ شوری ۳۵/۳۷ ppt، T_1)، ۲- پساب آب شیرین‌کن (شوری ۴۲/۸۸ ppt، T_2)، ۳- آب چاه ژرف (شوری ۱۷/۳۵ ppt، T_3) و ۴- آب چاه کشاورزی (شوری ۲۸/۴۶ ppt، T_4) کشت شدند. تیمارها در طی دوره آزمایش (۲۴ و ۴۸ ساعت) در شرایط استاندارد شامل دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد، نور ۳۷ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه و ۱۲ ساعت روشنایی/۱۲ ساعت تاریکی نگهداری شدند. نتایج نشان داد که بین تیمارها از نظر میزان تخم‌گشایی (بین همه تیمارها، $p<0/05$) و درازای آرتمیا (بین برخی تیمارها، $p<0/05$) تفاوت معنی‌دار وجود داشت. بیشترین میزان تخم‌گشایی بعد از ۴۸ ساعت برای تیمار ۱ (۵/۴۱ ± ۷۱/۳۲٪) و سپس به ترتیب برای تیمار ۳ (۴/۲۸ ± ۶۷/۱۹٪)، تیمار ۴ (۲/۳۳ ± ۵۱/۱۹٪) و تیمار ۲ (۲/۷۸ ± ۴۷/۸۱٪) ثبت شد. طول آرتمیا در تیمار ۳ (۰/۰۶ mm ± ۰/۶۴) بیش از تیمارهای ۱ (۰/۰۵ mm ± ۰/۶۲)، ۴ (۰/۰۴ mm ± ۰/۵۹) و ۲ (۰/۰۵ mm ± ۰/۵۶) بود. در بین جمعیت هر یک از تیمارها شکل رایج آرتمیا در تیمارهای ۳ و ۴ بعد از گذشت ۴۸ ساعت از زمان انکوباسیون Instar 2 بود، در حالی که در دو تیمار دیگر Instar 1 غالب بود. خصوصیات ریختی آرتمیا بین تمام تیمارها مشابه و طبیعی بود. بر این اساس تخم‌گشایی و نگهداری لارو *A. franciscana* تا مدت ۴۸ ساعت پس از انکوباسیون به ویژه در پساب آب شیرین‌کن از کارایی خوبی برخوردار بود. داده‌های ارائه شده در این مطالعه برای اولین بار اطلاعات مفیدی در باره تخم‌گشایی سیست آرتمیا و نگهداری نوزاد در منابع آب نامتعارف در منطقه سیستان فراهم می‌کند.

کلمات کلیدی

سیست آرتمیا

غذای زنده

پساب

تخم‌گشایی

نویسنده مسئول: Hashem.barani@uoz.ac.ir

مقدمه

امروزه افزایش جمعیت و بحران کم‌آبی به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک در کشورهای مختلف باعث شده است تا استفاده از منابع آبی نامتعارف رونق پیدا کند (Soleimani-Sardo and Khanjani, 2022; Karimidastenaei et al. 2022). منابع نامتعارف به منابع آبی گفته می‌شود که به طور معمول قابل استفاده نبوده و به کارگیری آنها نیازمند اعمال سیاست‌های مدیریتی، محیط زیستی و تصفیه (فیزیکی، شیمیایی و زیستی) است (Hossein khanjani and Hajirezaee, 2020). با توجه به این که بخش گسترده‌ای از کشور ما خشک و نیمه‌خشک است، استفاده از آب‌های نامتعارف در آینده گریزناپذیر بوده و در مدیریت خشکسالی بسیار کارامد و مؤثر خواهد بود و در این راستا ممکن است به این امر به عنوان یکی از راه‌های توسعه آبزی‌پروری توجه شود. آب‌های شور داخلی و انواع پساب‌ها از جمله پساب آب شیرین‌کن‌ها جزء آب‌های نامتعارف محسوب می‌شوند (Hossein khanjani and Hajirezaee, 2020) که برای پرورش برخی آبزیان با ارزش اقتصادی بالا پیشنهاد شده‌اند (Awal et al. 2016; Matos et al. 2017; Ogburn et al. 2023). نمک‌زدایی آب‌های شور (آب دریا و آب‌های شور داخلی) یکی از روش‌های تولید آب شیرین است که در حال حاضر بسیاری از کشورهای دارای تنش آبی از جمله کشور ما سعی دارند تا از این طریق نیازهای جمعیت در حال رشد و توسعه صنایع مختلف خود را برآورده سازند (Greenlee et al. 2009; Omerspahic et al. 2022; Oron et al. 2023). با توجه به تداوم خشکسالی‌ها و کاهش منابع آب شیرین در جهان به نظر می‌رسد که دیگر نمی‌توان این منابع تأمین آب را به عنوان یک منبع محدود و منطقه‌ای در نظر گرفت. استفاده از منابع آبی نامتعارف به رغم دارا بودن طیف وسیعی از مزایای اقتصادی، اجتماعی و بهداشتی، همواره اثرات نامطلوب زیست محیطی را به همراه دارد (Lisitsin et al. 2008; Sánchez et al. 2015). در سال‌های اخیر تحقیقات علمی گسترده‌ای برای کاهش این معضلات و مدیریت استفاده از این منابع آب در دنیا در جریان است (Dementyev and Marfenin, 2019; Ogburn et al. 2023; Madkour et al. 2023).

آرتمیا یک غذای زنده ضروری در تغذیه مراحل نوزادی بسیاری از آبزیان تجاری محسوب می‌شود (Jafaryan et al. 2018; Veeramani et al. 2019; De Ortiz et al. 2021; El-Sayed et al. 2022). ارزش غذایی مناسب، انرژی زیاد، صرفه اقتصادی و حمل و نقل آسان باعث تبدیل آرتمیا به رایج‌ترین غذای زنده مورد استفاده در صنعت آبزی‌پروری شده است (Sorgeloos et al. 2001; Zarei Shamsabadi et al. 2022). آرتمیا موجود بسیار مقاومی نسبت به شرایط محیطی است، به طوری‌که آن را می‌توان در زیستگاه‌های بسیار متنوعی از نظر ترکیب شیمیایی آب (Lenz, 1987; Bowen et al. 1988)، عرض جغرافیایی (Triantaphyllidis et al. 1997; Van Stappen, 2020) و شرایط اقلیمی مرطوب تا خشک در نقاط مختلف دنیا (Vanhaecke et al. 1987) پیدا کرد. بنابراین، گونه‌های مختلف آرتمیا را به علت توان بالقوه خوب سازگاری نسبت به شرایط مختلف محیطی، به‌خصوص شوری زیاد، می‌توان به عنوان گزینه مناسبی برای پرورش در منابع آب‌های شور داخلی و پساب آب شیرین‌کن‌ها مد نظر قرار داد. شواهد نشان می‌دهد که خصوصیات مختلف زیستی آرتمیا از قبیل میزان بقا، رشد، طی دوره تولید مثلی، محتوای غذایی ناپلیوس‌های تازه تفریخ شده و غیره به طور قابل توجهی در بین مکان‌های جغرافیایی مختلف متفاوت است (Vanhaecke et al. 1987; Munoz and Pacios, 2010). حدود ۷ گونه آرتمیای دو جنسی و تعداد زیادی آرتمیای بکرزا وجود دارد که در بین آنها *A. franciscana* گونه بسیار مقاوم‌تری است که تا حد زیادی توانسته توجه‌ها را به عنوان مهمترین گونه برای آبزی‌پروری به‌خصوص در مناطقی که هیچ گونه‌ای از آرتمیا به طور طبیعی در آنجا وجود ندارد و یا از آب‌های شور مصنوعی استفاده می‌کنند، به خود جلب کند (Van Stappen et al. 2020).

وقوع و تداوم خشکسالی‌های طولانی‌مدت در منطقه سیستان تحت تأثیر عوامل جغرافیایی و مسائل سیاسی باعث اثرات بسیار زیان‌بار بر فعالیت‌های اقتصادی منطقه از جمله فعالیت‌های آبزی‌پروری شده است (Ebrahimzadeh, 2009; Sardar Shahraki et al. 2020). در حال حاضر به استفاده از منابع آبی موجود در منطقه سیستان (غیر از

آب‌های جاری) از جمله چاه‌های ژرف (برای اولین بار در کشور) و چاه‌های کشاورزی توجه شده است. چاه‌های ژرف، منابع آبی نوظهور در منطقه سیستان و ایران با عمق بیش از ۲۰۰۰ متر هستند. چاه کشاورزی در این مطالعه به چاه‌هایی با عمق ۲۰-۱۷ متر در منطقه اشاره دارد که از آب‌های زیر سطحی منشأ می‌گیرند و از طرف دیگر با توجه به شور بودن آب این منابع استقرار آب شیرین کن‌ها برای تأمین آب شرب منطقه سیستان در حال توسعه است که در این مطالعه پساب آب شیرین‌کن مربوط به شیرین‌سازی آب چاه ژرف ۳ برای شرب استفاده شده است. استفاده از این منابع آبی شور جدید در جهت تداوم فعالیت‌های آبزی‌پروری و پرورش برخی آبزیان تجاری ممکن است ضمن بهره‌برداری بهینه از منابع آبی موجود، در افزایش درآمد و سطح رفاه خانوارهای روستایی این منطقه نیز مؤثر باشد. لذا پرورش آرتمیا را به علت ارزش اقتصادی و مقاومت زیاد به شرایط محیطی می‌توان به عنوان یک گونه جایگزین مناسب برای آبزی پروری منطقه در نظر گرفت. این مطالعه اولین تلاش برای ارزیابی میزان تخم-گشایی، عملکرد رشد و سلامت آرتمیا در مرحله نوزادی با استفاده از منابع آب‌های شور جدید به‌خصوص چاه ژرف و پساب آب شیرین‌کن است.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر در آزمایشگاه تکثیر و پرورش آبزیان پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون پژوهشگاه زابل انجام شد. میزان تخم-گشایی و عملکرد رشد (درازا و پهنای بدن)، تنوع اشکال مختلف زیستی و سلامت ریختی گونه آرتمیا *A. franciscana* تحت تأثیر آب‌های نامتعارف از موارد بررسی در این مطالعه بودند. برای این منظور، چهار تیمار شامل ۱- آب مقطر و نمک دریا (شاهد؛ شوری ۳۵/۳۷ ppt، T_1)، ۲- پساب آب شیرین کن چاه ژرف (شوری ۴۲/۸۸ ppt، T_2)، ۳- آب چاه ژرف شماره ۳ (شوری ۱۷/۳۵ ppt، T_3) و ۴- آب چاه کشاورزی (شوری ۲۸/۴۶ ppt، T_4) با اختصاص سه تکرار برای هر تیمار انتخاب شد. پس از آماده-سازی تیمارهای مختلف، فراسنجه‌های فیزیکوشیمیایی آب برای هر تیمار اندازه‌گیری شدند (جدول ۱). برای انکوباسیون سیست‌ها از ظروف مخروطی ۱/۵ لیتری استفاده شد. به هر یک از ظروف یک لیتر آب از تیمار مورد نظر اضافه شد و سپس میزان ۲ گرم سیست به بطری‌ها اضافه شد (Sorgeloos et al. 2001). در طی دوره آزمایش برای تمام تیمارها دما ۲۷ درجه سانتی‌گراد (Salma et al. 2012)، شدت نور ۳۷ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه، دوره نوری ۱۲ ساعت تاریکی/روشنایی و هوادهی مداوم انتخاب شد. برای تعیین میزان تخم‌گشایی پس از گذشت ۲۴ و ۴۸ ساعت از زمان انکوباسیون، از هر تکرار ۵ زیرنمونه ۲۵۰ میکرولیتری برداشته شد (Vanhaecke and Sorgeloos, 1989). برای تثبیت نمونه‌ها از الکل ۹۶٪ استفاده شد. تعداد سیست‌های تخم‌گشایی نشده (N)، ناپلیوس‌های چتری (U)، ناپلیوس‌ها (I) با استفاده از استریومیکروسکوپ (SMZ-1, Nikon, Japan) شمارش شدند. از فرمول زیر برای محاسبه درصد تخم‌گشایی (H) استفاده شد (Van Stappen, 1996):

$$H\% = (I \times 100) \times (I+U+N)^{-1}$$

برای ارزیابی عملکرد رشد (درازا و پهنای بدن) و سلامت (مقایسه خصوصیات ریختی) بعد از ۲۴ و ۴۸ ساعت نگهداری از هر تیمار حداقل ۳۰ نمونه به طور تصادفی انتخاب و تصویربرداری شدند و با استفاده از نرم‌افزار Digimizer (۵/۴) درازا و پهنای بدن آرتمیا اندازه‌گیری شد. همچنین، اندازه گیری میزان شوری، pH و سایر فراسنجه‌های شیمیایی آب (شامل منیزیم، مس، کلر (Cl_2)، سولفات، نیتریت، نیترات، آمونیوم و سختی) به ترتیب با استفاده از شوری‌سنج، pH متر و دستگاه فتومتر پالین تست (Palintest™ 8000, Tyne & Wear, UK) انجام شد. میزان کلرید (Cl^-) نیز با استفاده از روش تیتراسیون با نیترات نقره (Mohr's Argentometric method) سنجش شد (Mohr 1856).

تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا نرمال و همگن بودن واریانس داده‌ها به ترتیب توسط آزمون‌های Kolmogorov-Smirnov و Levene بررسی شد. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه و تحلیل با استفاده از روش آنالیز واریانس یک طرفه (One-Way ANOVA) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از

آزمون توکی استفاده شد و $p<۰/۰۵$ به عنوان مرز استنتاج آماری در نظر گرفته شد. برای بررسی همبستگی بین فراسنجه‌های محیطی و میزان تخم‌گشایی و عملکرد رشد (درازای بدن) از همبستگی پیرسون استفاده شد. تمام آزمون‌های آماری فوق با استفاده از نرم افزار SPSS و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج

شرایط فیزیکوشیمیایی آب

نتایج مربوط به ۱۱ خصوصیت فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده آب برای هر تیمار در جدول ۱ نشان داده شده است. از نظر تمام فراسنجه‌ها حداقل بین دو تیمار تفاوت معنی‌دار وجود داشت ($p<۰/۰۵$). در مورد شوری، منیزیم، نیترات و سختی بین هر چهار تیمار تفاوت معنی‌دار ثبت شد ($p<۰/۰۵$). همچنین با توجه به جدول ۱ pH، مس، نیتریت و کلر شاخص‌هایی بودند که کمترین تفاوت را بین تیمارها نشان دادند.

Table 1 Physicochemical characteristics of water in the treatments used in this study

جدول ۱ ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب تیمارهای استفاده شده در مطالعه حاضر

Parameter	T_1	T_2	T_3	T_4
Salinity (ppt)	35.08 ± 0.06^{c}	42.88 ± 0.11^{d}	17.35 ± 0.04^{a}	28.46 ± 0.07^{b}
pH	8.25 ± 0.08^{a}	9.14 ± 0.03^{b}	9.23 ± 0.02^{b}	9.02 ± 0.03^{b}
Mg (mg/L)	563.65 ± 5.67^{d}	369.55 ± 4.64^{b}	157.45 ± 2.29^{a}	237.88 ± 1.79^{c}
Cu (mg/L)	0.014 ± 0.001^{b}	0.011 ± 0.002^{b}	0.005 ± 0.001^{a}	0.006 ± 0.002^{a}
Cl_2 (mg/L)	0.015 ± 0.002^{a}	0.035 ± 0.005^{b}	0.008 ± 0.002^{a}	0.011 ± 0.001^{a}
Cl^- (mg/L)	19702.5 ± 177.5^{a}	19395.30 ± 113.5^{a}	2340.83 ± 130.72^{c}	9478.40 ± 106.50^{b}
Sulfate (mg/L)	226.55 ± 4.14^{c}	116.61 ± 2.04^{a}	196.33 ± 1.65^{b}	120.18 ± 1.76^{a}
Nitrite (mg/L)	0.002 ± 0.0003^{b}	0.002 ± 0.0002^{b}	0.001 ± 0.0001^{a}	0.001 ± 0.0001^{a}
Nitrate (mg/L)	197.45 ± 2.31^{c}	252.88 ± 3.204^{d}	149.98 ± 2.85^{b}	112.19 ± 2.69^{a}
Ammonia (mg/L)	0.006 ± 0.001^{a}	0.586 ± 0.015^{c}	0.218 ± 0.007^{b}	0.598 ± 0.03^{c}
Hardness (as $CaCO_3$)	72.44 ± 1.45^{a}	259.48 ± 3.07^{c}	490.77 ± 4.99^{d}	187.30 ± 1.75^{b}

Different letters in each row indicate significant differences between different treatments ($p<0.05$)

حروف مختلف در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی دار بین تیمارهاست ($p<۰/۰۵$).

میزان تخم‌گشایی

میانگین درصد تخم‌گشایی در هر تیمار پس از گذشت ۲۴ و ۴۸ ساعت از زمان انکوباسیون در شکل ۱ نشان داده شده است. در هر دو زمان مورد مطالعه میزان تخم‌گشایی بین تیمارها تفاوت معنی‌دار نشان داد. کمترین میزان تخم‌گشایی مربوط به تیمار آب چاه ژرف (۲/۶۰ ± ۳۰/۴۱٪) و ۲/۷۸ ± ۴۷/۸۱٪) بود و بیشترین میزان تخم‌گشایی به ترتیب برای تیمار شاهد (۵/۴۱ ± ۷۱/۳۲٪) و تیمار پساب آب شیرین‌کن (۴/۲۸ ± ۶۷/۱۹٪) بعد از گذشت ۴۸ ساعت از انکوباسیون به‌دست آمد.

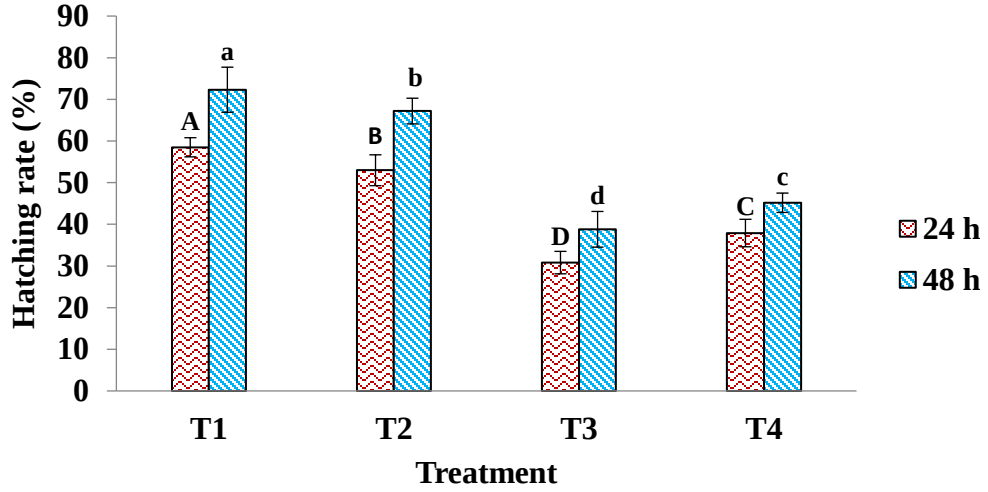

Figure 1 The hatching rate of *A. fransiscana* in the treatments used in the present study. Unlike letters in each column indicate significant differences between different treatments (p<0.05).

شکل ۱ میزان تخم گشایی *A. fransiscana* در تیمارهای استفاده شده در مطالعه حاضر (حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی دار (p<۰/۰۵) است.

عملکرد رشد (درازا و پهنای بدن)

نتایج میانگین درازا و پهنای بدن *A. fransiscana* در هر یک از تیمارهای استفاده شده در مطالعه حاضر پس از گذشت ۲۴ و ۴۸ ساعت از زمان انکوباسیون به ترتیب در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است. در هر دو زمان کمترین میزان میانگین درازا مربوط به تیمار ۳ و ۴ بود. بیشترین میزان درازای بدن (۰/۶۴ ± ۰/۰۶ mm) مربوط به تیمار پساب آب شیرین‌کن بود که بجز تیمار شاهد، نسبت به دیگر تیمارها اختلاف معنی‌دار نشان داد (p<۰/۰۵). همچنین سنجش آماری نشان داد که از نظر پهنای بدن بین تیمارها در هر دو زمان تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (p>۰/۰۵).

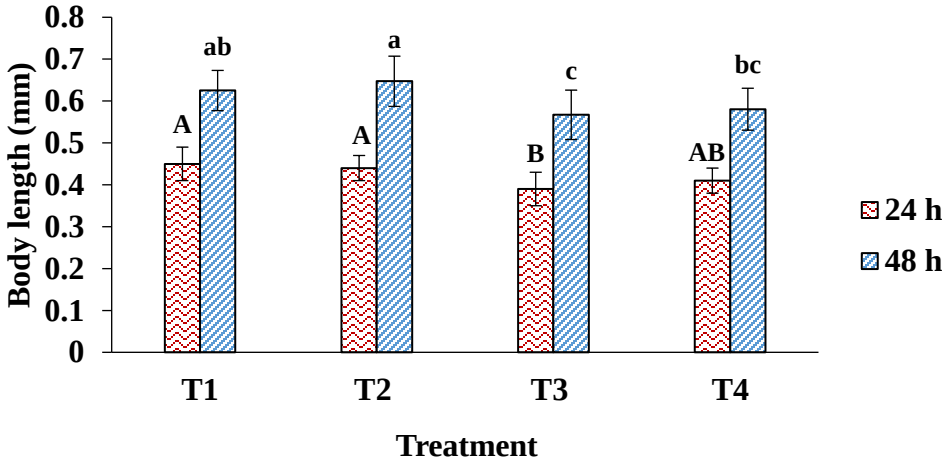

Figure 2 Average body length of *A. fransiscana* in the treatments used in the present study. Unlike letters in each column indicate significant differences between different treatments (p<0.05).

شکل ۲ میانگین درازای بدن *A. fransiscana* در تیمارهای استفاده شده در مطالعه حاضر. حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار (p<۰/۰۵) است.

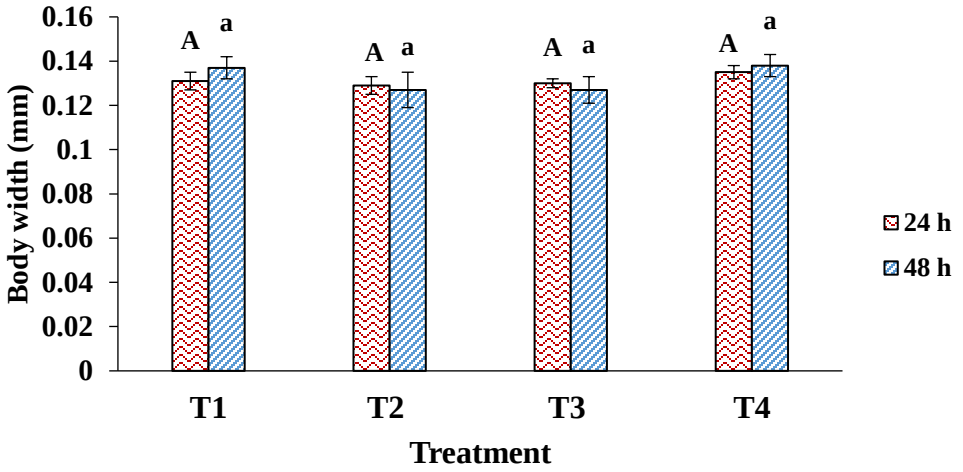

Figure 3 Average body width of *A. fransiscana* in the treatments used in the present study. Unlike letters in each column indicate significant differences between different treatments (p<0.05).

شکل ۳ میانگین عرض بدن *A. fransiscana* در تیمارهای استفاده شده در مطالعه حاضر. حروف مختلف نشان دهنده اختلاف معنی دار (p<۰/۰۵) است.

همبستگی بین میزان تخم‌گشایی و عملکرد رشد (درازای بدن) آرتمیا با شرایط فیزیکوشیمیایی

نتایج همبستگی بین میزان تخم‌گشایی و عملکرد رشد (درازای بدن) *A. fransiscana* در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به این نتایج مشاهده شد که این دو عامل میزان متـفاوتی از همبستـگی معنـی‌دار را با اغلب فراسنجه‌های فیزیکوشیمیایی بجز سولفات و آمونیوم دارا بودند. بیشترین میزان همبستگی برای هر دو عامل با شوری ثبت شد. هر دو عامل همبستگی معنی‌دار و منفی با pH نشان دادند. سختی تنها فراسنجه محیطی بود که فقط با میزان تخم‌گشایی همبستگی معنی‌دار و منفی نشان داد.

Table 2 Correlation between hatching rate and growth performance (body length) of *A. fransiscana* with physicochemical conditions.

جدول ۲ همبستگی بین میزان تخم گشایی و عملکرد رشد (درازای بدن) آرتمیا *A. fransiscana* با شرایط فیزیکوشیمیایی

	Salinity	pH	Mg	Cu	Cl^2	Cl^-	Sulfate	Nitrite	Nitrate	Ammonium	Hardness
Hatching rate	0.87^{**}	-0.58^{**}	0.75^{**}	0.51^{**}	0.53^{**}	0.79^{**}	0.16	0.54^{**}	0.77	-0.28	-0.39^{**}
Body length	0.53^{**}	-0.38^{*}	0.44^{**}	0.34^{*}	0.44^{**}	0.37^{*}	-0.013	0.40^{*}	0.50	-0.03	-0.19

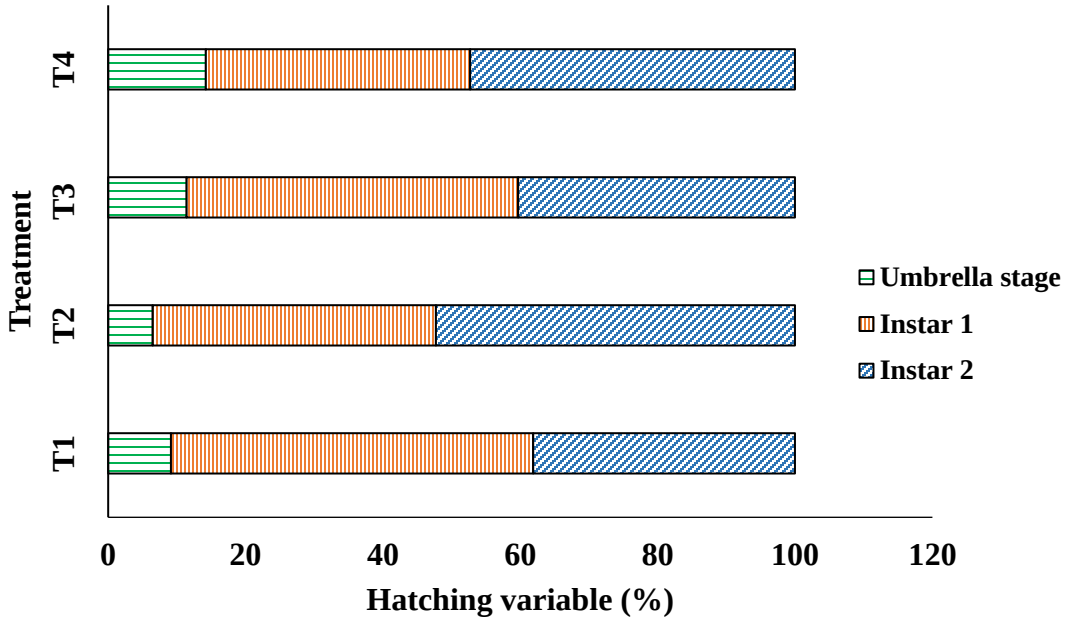

Figure 4 Hatching variables (different biological forms) of *A. franciscana* in the treatments used in the present study.

شکل ۴ متغیرهای تخم‌گشایی (اشکال مختلف زیستی) آرتمیا فرانسیسکانا در تیمارهای استفاده شده در مطالعه حاضر

تنوع متغیرهای تخم‌گشایی (اشکال مختلف زیستی) آرتمیا

با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که بین تیمارها از نظر نسبت اشکال مختلف زیستی آرتمیا تفاوت وجود دارد، به طوری که در تیمار شاهد و آب چاه ژرف رایج‌ترین شکل مربوط به Instar 1 بود و Instar 2 شکل غالب در تیمار پساب آب شیرین‌کن و آب چاه کشاورزی بود.

مقایسه ریختی اعضای هر تیمار

در شکل ۵ تصویر مربوط به Instar 2 آرتمیا بعد از گذشت ۴۸ ساعت پرورش در هر تیمار برای بررسی مقایسه‌ای وجود ناهنجاری‌های ریختی احتمالی تحت تأثیر محیط کشت نشان داده شده است. در تمام تیمارها مشاهده می‌شود که چشم در مکان اصلی خود به شکل طبیعی قرار دارد. رنگ آرتمیا در تمام تیمارها مشابه (مایل به قهوه‌ای) است. وضعیت آنتن‌ها و دستگاه گوارش در تمام نمونه‌ها مشابه و یکسان است و ناهنجاری ریختی در بین افراد تیمارهای مختلف در این مرحله از زندگی آرتمیا مشاهده نشد.

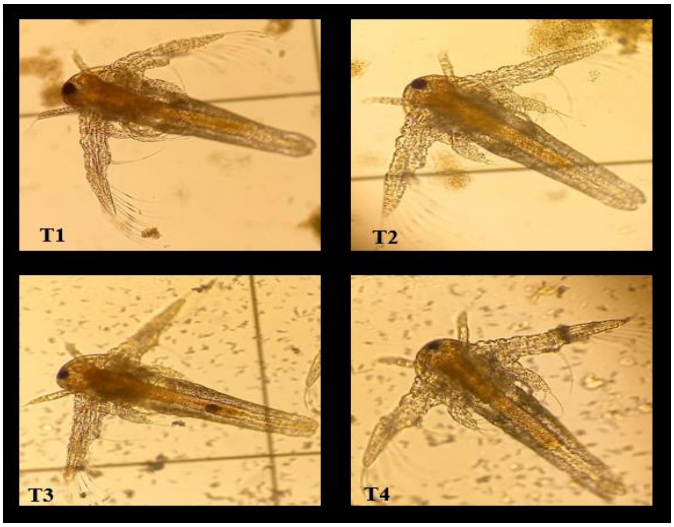

Figure 5 Morphological characteristics of *A. franciscana* after 48 hours of cultivation in the treatments used in the present study.

شکل ۵ ویژگی‌های ریختی *A. franciscana* بعد از ۴۸ ساعت نگهداری در تیمارهای استفاده شده در مطالعه حاضر

بحث

در سال‌های اخیر به علت کاهش منابع آب شیرین به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک تلاش‌های زیادی برای استفاده از منابع آبی نامتعارف از جمله آب‌های زیرزمینی، فاضلاب و پساب‌ها در صنعت آبزی‌پروری انجام شده است (Marinho-Soriano et al. 2011; Afsharhezarkhani et al. 2017; Hussain et al. 2019; Madkour et al. 2023). آرتمیا یکی از آبزیان بسیار ارزشمند است که توان بالقوه بالایی برای سازگاری با شرایط محیطی مختلف از خود نشان داده است. بیشتر مراکز تکثیر و پرورش آبزیان تجاری به آرتمیا به‌عنوان تنها غذای زنده با کیفیت برای پرورش ماهی و سخت‌پوستان وابسته هستند (Jafaryan, 2016). تأثیر شرایط محیطی بر یک موجود زنده عمدتاً به تداوم و شدت عوامل محیطی و توانایی سازگاری موجود زنده بستگی دارد (Dana et al. 1986). شرایط نامطلوب محیطی ممکن است منجر به کاهش میزان تخم‌گشایی سیست، رشد، بقا و قابلیت باروری در فرد و در نتیجه، تغییر در ساختار جمعیت شوند (Bagheri and Hedayati, 2009; Castro-Mejía et al. 2011; Sellami et al. 2020a).

تحقیق حاضر برای بررسی کارایی تخم‌گشایی و رشد *A. franciscana* در آب‌های نامتعارف منطقه سیستان انجام شد. نتایج به‌دست آمده در این مطالعه نشان داد که تفاوت‌هایی از نظر میزان تخم‌گشایی، عملکرد رشد و ترکیب جمعیت در مراحل مختلف رشد در شرایط آزمایشگاهی بین تیمارهای مورد استفاده در این مطالعه وجود دارد.

خصوصیات آب نقش مهمی در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک آبزیان دارند. در مطالعه حاضر ۱۱ شاخص فیزیکوشیمیایی آب در بین تیمارهای مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد که تیمارهای مورد استفاده در این مطالعه غلظت و نسبت‌های متفاوتی از یون‌ها را دارا بودند. مطالعات مختلف تأثیر ویژگی‌های آب را بر روی مراحل مختلف زندگی، پاسخ زیستی و فیزیولوژیک در گونه‌های مختلف آرتمیا نشان داده‌اند (Agh et al. 2018; Thangal et al. 2021). میزان شوری بین تیمارهای مختلف در این مطالعه تفاوت معنی‌دار نشان داد و بر اساس نتیجه حاصل از همبستگی که میزان تخم‌گشایی و درازای آرتمیا بالاترین میزان همبستگی را با این فراسنجه نشان دادند، شوری را می‌توان به عنوان مؤثرترین عامل در این مطالعه معرفی کرد. شوری رایج‌ترین خصوصیت همه بیوتیپ‌های آرتمیا بوده و عامل غیرزیستی غالب تعیین کننده حضور آرتمیا و محدود کردن پراکنش جغرافیایی و خصوصیات زیستی آنهاست (Dana et al. 1993; Triantaphyllidis et al. 1997; Van Stappen, 2003; Litvinenko et al. 2007). با وجود اهمیت

شوری در این مطالعه، اما در محیط زیست عوامل محیطی همزمان تأثیر می‌گذارند و یک رابطه پیچیده بین آنها وجود دارد که دامنه مطلوب برای سازگاری موجودات زنده را تعیین می‌کنند (Browne and Wanigasekera, 2000; Kumar and Babu, 2015; Arun et al. 2017). به طور کلی یکی از مزایای استفاده از *A. franciscana* توانایی بالای آن در سازگاری با عوامل محیطی مختلف است. میزان تخم‌گشایی یک شاخص قابل اعتماد و حساس است که در بسیاری از مطالعات مرتبط با خصوصیات زیستی آرتمیا برای سلامت و مناسب بودن محیط برای کشت مورد توجه است (Salma et al. 2012; Pacheco et al. 2021; Dey et al. 2023). در مطالعه حاضر، میزان تخم‌گشایی به طور معنی‌دار بین تیمارها متفاوت بود. بالاترین میزان تخم‌گشایی در هر دو زمان مورد مطالعه (۲۴ و ۴۸ ساعت پس از انکوباسیون) در تیمارهای دارای شوری بالاتر مانند تیمار شاهد و پساب آب‌شیرین‌کن مشاهده شد و کمترین میزان تخم‌گشایی مربوط به تیمارهای با شوری کمتر شامل تیمار آب چاه ژرف و چاه کشاورزی بود. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که شوری یک عامل مهم و بسیار تأثیرگذار در فرآیند تخم‌گشایی سیست انواع گونه‌های آرتمیاست (Ahmed et al. 1997; Wasonga and Olendi, 2017; Dey et al. 2023). در طی توسعه سیست، فشار اسمزی خارجی تأثیر عمده‌ای بر سرعت رشد و ظهور، تنفس و تغییرات در غلظت گلیکوژن، گلیسرول و ترهالوز دارد. علاوه بر این، مصرف اکسیژن سیست‌ها با افزایش فشار اسمزی در محیط کاهش می‌یابد (Gajardo & Beardmore, 2012). به طور مشابه با مطالعه حاضر، Nipa و همکاران (۲۰۱۶) بهترین شوری را برای تخم‌گشایی سیست این گونه ppt ۳۵ گزارش کردند. در حالی‌که Speer و Weider (۲۰۱۸) بهترین عملکرد تخم‌گشایی سیست را برای *A. franciscana* بسته به منشأ جغرافیایی سیست‌ها در شوری ۲۵ و ppt ۵۰ مشاهده کردند. در مطالعات قبلی مشخص شده است که عوامل دیگری مانند شرایط دمایی، منشأ جغرافیایی سویه و غیره می‌توانند در تعیین میزان بهینه شوری برای آرتمیا نقش مؤثری داشته باشند (Browne and Wanigasekera, 2000; Bagheri and Hedayati, 2009). تأثیر شوری بر روی لقاح، تولید تخم و میزان تخم‌گشایی سیست در دیگر گونه‌های سخت‌پوستان مانند دافنی و پاروپایان (کوپه‌پودا) نیز به اثبات رسیده است (Mabidi et al. 2018). اثرات شوری بر تخم‌گشایی سیست در مرحله اول با میزان هیدراتاسیون قابل دستیابی در سیست‌ها و همچنین ساخت مقدار گلیسرول لازم برای رسیدن به فشار مطلوب اسمزی داخل سیست مرتبط است که نتیجه این موارد، تحریک جنین و پاره شدن پوسته سیست است (Versichele and Sorgeloos, 1980; Kulasekarapandian and Ravichandran, 2003). شوری بالاتر یا کمتر از حد بهینه باعث جذب مقادیر نامعینی آب برای حمایت از سوخت و ساز جنین می‌شود و میزان تخم‌گشایی سیست‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Sorgeloos et al. 2001). بنابراین، تفاوت مشاهده شده در میزان تخم‌گشایی سیست‌ها بین تیمارهای مختلف در این مطالعه را می‌توان به تفاوت شوری بین آنها نسبت داد که احتمالاً اثر متفاوتی در تحریک سوخت و ساز جنین و انحلال پوسته داشته است و بر این اساس، پایین بودن میزان تخم‌گشایی سیست آرتمیا فرانسیسکانا در تیمار آب چاه ژرف و چاه کشاورزی را می‌توان به فاصله داشتن با شوری بهینه (تیمار شاهد) نسبت داد. علاوه بر میزان شوری که نقش مؤثر در میزان تخم‌گشایی دارد، اهمیت نوع و نسبت اجزای سازنده شوری نیز در میزان تخم‌گشایی نشان داده شده است (Van Stappen et al. 2003; Sserwadda et al. 2018).

ارزیابی رشد جسمی نقش اساسی در تعیین وضعیت سلامت هر موجود زنده دارد. در این مطالعه اگر چه تفاوت میانگین درازای آرتمیا بین تیمارها معنی‌دار بود، اما بین تیمار پساب آب شیرین‌کن و نمونه شاهد تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد و بیشترین رشد نیز مربوط به این دو تیمار بود. Triantaphyllidis و همکاران (۱۹۹۷) نیز بیشترین میزان رشد *A. fransiscana* را در شوری ppt ۳۵ گزارش کردند که با مطالعه حاضر همخوانی دارد. اثرات بازدارنده رشد تحت تأثیر شوری نامطلوب محیط بر روی دیگر گونه‌های آرتمیا در مطالعات قبلی نیز به ثبت رسیده است (Dana et al. 1993; El-Bermawi et al. 2004; Soundarapandian and Saravanakumar, 2009).

در راستای توجیه فیزیولوژیک کاهش رشد در جمعیت‌های آرتمیا تحت شوری‌های مختلف، نقش تنظیم فشار اسمزی بیش از پیش مهم به حساب می‌آید (Sserwadda et al. 2018). آرتمیا دارای یک دستگاه تنظیم اسمزی کارآمد است که آن را قادر می‌کند تا تعادل اسمزی خود را در شوری‌های مختلف محیطی حفظ کند (Bradley, 2009; Sellami et al. 2020b). با وجود این، اگر شوری محیط نسبت به میزان بهینه گونه فاصله داشته باشد، در این شرایط تنظیم فشار اسمزی و حفظ تعادل اسمزی بدن با افزایش مصرف انرژی همراه است که ممکن است بر دیگر عملکردهای سوخت و ساز و فیزیولوژیک مانند رشد تأثیر بگذارد (Dana and Lenz, 1986; Van Stappen, 2003). بر این اساس، میزان رشد کمتر در آب چاه ژرف با شوری کمتر ممکن است نتیجه افزایش هزینه انرژی برای حفظ هموستاز بدن در شرایط شوری پایین محیط باشد. با وجود تفاوت اندازه مشاهده شده در این مطالعه، اما در تمام تیمارها آرتمیا توانست به میانگین درازای بیش از ۰/۵ میلی‌متر برسد که این نشان می‌دهد آرتمیا از نظر درازا در حد مطلوب بوده و می توان از آنها به عنوان غذای مناسب برای نوزاد ماهی و میگو در مراحل بعدی استفاده کرد (Vanhaecke et al. 1987). استفاده از ناپلیوس‌های بزرگتر برای تغذیه نوزاد ماهیان سودمندتر است، زیرا اندازه بزرگتر طعمه باعث می‌شود تا شکارچی انرژی کمتری را صرف شکار تعداد طعمه بیشتر برای رفع نیازهای تغذیه‌ای خود کند (Hudaidah, 2009).

ناپلیوس، Instar 1 و Instar 2 سه شکل زیستی رایج آرتمیا هستند که در آبزی‌پروری استفاده قرار می‌شوند. در این مطالعه مشاهده شد که در هر تیمار نسبت بین این سه شکل از آرتمیا متفاوت است. مطالعات متعدد نشان دادند که در شرایط طبیعی و آزمایشگاهی فراسنجه‌های محیطی از قبیل شوری، دما، pH و نیترات نقش مهمی در پیشرفت چرخه زندگی و ترکیب جمعیت آرتمیا ایفا می‌کنند (Van Stappen et al. 2001; Torrentera and Dodson, 2004; Saji et al. 2016). مطالعه انجام شده توسط Krishnakumar و همکاران (۲۰۱۴) نیز برای ارزیابی تأثیر فراسنجه‌های فیزیکوشیمیایی محیط بر چرخه زندگی *A. franciscana*، تأثیر قابل‌توجه شوری، اکسیژن محلول و نیترات را نشان داد. بنابراین، احتمالاً ترکیب متفاوت فراسنجه‌های محیطی هر تیمار و توانایی سازگاری هر یک از اشکال در ترکیب جامعه در این مطالعه مؤثر بوده است. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که آرتمیا در مرحله instar 1 زودتر با شرایط محیطی تیمارهای آب چاه کشاورزی و پساب آب شیرین‌کن سازگار شده و وارد مرحله instar 2 شده است.

یکی دیگر از یافته‌های مطالعه حاضر عدم مشاهده ناهنجاری‌های ریختی دیگری بجز کاهش رشد در برخی تیمارها بود. ناهنجاری‌های ریختی بدن از جمله چشم مرکزی، تغییر رنگ (در مرحله Instar 2)، شکل غیرطبیعی آنتن‌ها و یا لوله گوارشی در آرتمیا در شرایط محیطی مختلف در مطالعات قبلی گزارش شده است (Arulvasu et al. 2014; Ekonomou et al. 2019). عامل مؤثر در این ناهنجاری‌های ریختی تغییر فعالیت‌های آنزیمی در آرتمیا بیان شده است (Brennan et al. 1998). با توجه به این موارد، عدم مشاهده ناهنجاری ریختی در این مطالعه نشان می‌دهد که خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب در تیمارهای مورد استفاده در این مطالعه تأثیر مضری بر سلامت جسمانی آرتمیا ندارد و احتمالاً می‌توان از آنها به‌خصوص پساب آب شیرین‌کن برای پرورش آرتمیا فرانسیسکانا استفاده کرد. همچنین، در تیمار آب چاه ژرف و آب چاه کشاورزی که تنها کاهش رشد و نه ناهنجاری ریختی دیگر مشاهده شد، احتمالاً از طریق تصحیح میزان شوری آنها (افزایش شوری)، افزایش رشد آرتمیا امکان‌پذیر بوده و به عنوان یک منبع آبی مناسب برای پرورش آرتمیا استفاده شوند که البته این موضوع نیاز به مطالعات بیشتر در آینده دارد. در مطالعات دیگر، افزایش رشد آرتمیا با تصحیح شوری محیط نشان داده شده است (Sserwadda et al. 2018).

نتیجه گیری

با توجه به رخداد خشکسالی‌های مداوم و طولانی‌مدت در منطقه سیستان، تنها فرصت برای تداوم آبزی پروری به‌خصوص در سال‌های اخیر در استفاده از منابع آبی نامتعارف شور در این منطقه نهفته است. بر این اساس، مطالعه حاضر اولین شواهد از تخم‌گشایی و رشد اولیه مناسب آرتمیا در

محیط آب شور نامتعارف منطقه سیستان را ارائه می‌کند و نشان می‌دهد که کشت آرتمیا در آب‌های شور نامتعارف منطقه به‌خصوص پساب آب شیرین کن در شرایط آزمایشگاهی از نظر زیستی امکان‌پذیر است. داده‌های ارائه شده در این مطالعه اولین اطلاعات مفید را برای کشت آرتمیا در آب‌های شور منطقه سیستان و در نتیجه، تولید داخلی آرتمیا در کشور فراهم می‌کند. با وجود این، مطالعات آزمایشگاهی در مقیاس بزرگتر و به دنبال آن، انجام مطالعات میدانی هنوز مورد نیاز است.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی با شماره PR-RIOZ-1402-8853 است و هزینه انجام آن توسط پژوهشگاه زابل تأمین شده است.

منابع

Afsharhezarkhani, V., Manaffar, R., Bazrafshan, H., Khalilpur, H., Habibirezaei, M., Musavai Movahedi, A. 2017. Responses to thermal and salinity stress in different *Artemia urmiana*, Günther, 1890, populations grown in municipal wastewater. Animal Environment 9: 347-356. DOI: 20.1001.1.27171388.1396.9.3.44.4. (In Persian).

Agh, N., Mohamadyari, A., Rahimian, H. 2018. Simultaneous effect of salinity and temperature on morphometric characters of two populations of *Artemia urmiana* and *Artemia parthenogenetica* from Urmia Lake. Journal of Aquaculture Sciences 5: 103-120 (In Persian).

Ahmed, S.U., Rahman, M.A., Islam, M.N., Kamal, M. 1997. Effect of decapsulation on viability and hatching performance of *Artemia* cysts at different salinity levels. Bangladesh Journal of Fisheries 1: 67-74.

Akbari Nargesi, E., Falahatkar, B., Abdollahpour, H. 2017. The interaction of light intensity and pH on the hatching performance of *Artemia franciscana* in laboratory condition. Journal of Aquatic Ecology 6: 124-129 (In Persian).

Arulvasu, C., Jennifer, S.M., Prabhu, D., Chandhirasekar, D. 2014. Toxicity effect of silver nanoparticles in brine shrimp *Artemia*. The Scientific World Journal 256919. DOI: 10.1155/2014/256919.

Arun, V.V., Saharan, N., Ramasubramanian, V., Babitha Rani, A.M. 2017. Multi-response optimization of *Artemia* hatching process using split-split-plot design-based response surface methodology. Scientific Reports 7: 40394. DOI: 10.1038/srep40394.

Awal, S., Mc Dowall, S., Christie, A. 2016. Investigation into the potential use of inland saline groundwater for the production of live feeds for commercial aquaculture purposes. Journal of Aquaculture & Marine Biology 4: 00071. DOI: 10.15406/jamb.2016.04.00071

Bagheri, T., Hedayati, A. 2009. Determination of optimum range of temperature and salinity in hatching rate of *Artemia urmiana*. Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research 8: 59-64.

Bowen, S.T., Buoncristiani, M.R., Carl, J.R. 1988. *Artemia* habitats: Ion concentrations tolerated by one superspecies. Hydrobiologia 158: 201-214. DOI: 10.1007/BF00026278.

Bradley, T.J. 2009. Animal Osmoregulation. Oxford University Press, New York, 168 p. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780198569961.001.0001.

Brennan, C.A., Ashburner, M., Moses, K. 1998. Ecdysone pathway is required for furrow progression in the developing

Drosophila eye. Development 125: 2653-2664. DOI: 10.1242/dev.125.14.2653.

Browne, R.A., Wanigasekera, G. 2000. Combined effects of salinity and temperature on survival and reproduction of five species of *Artemia*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 244: 29-44. DOI: 10.1016/S0022-0981(99)00125-2.

Castro-Mejía, J., Castro-Barrera, T., Hernández-Hernández, L.H. 2011. Effects of salinity on growth and survival in five *Artemia franciscana* (Anostraca: Artemiidae) populations from Mexico Pacific Coast. Revista de Biologia Tropical 59: 199-206. DOI: 10.15517/rbt. v59i1.3190.

Dana, G.L., Jellison, R., Melack, J.M., Starrett, G.L. 1993. Relationships between *Artemia monica* life history characteristics and salinity. Hydrobioogia 263: 129-143. DOI: 10.1007/BF00006264.

Dana, L.G., Lenz, H.P. 1986. Effects of increasing salinity on an Artemia population from Mono Lake, California. Oecologia 68: 428-436. DOI: 10.1007/BF01036751.

Dey, P., Bradley, T.M., Boymelgreen, A. 2023. The impact of selected abiotic factors on *Artemia* hatching process through real-time observation of oxygen changes in a microfluidic platform. Scientific Reports 13: 6370. DOI: 10.1038/s41598-023-32873-1

Dementyev, V. S., Marfenin, N.N. 2019. The effect of desalination on the growth, coenosarc pulsations, and hydroplasm movement in the clonial hydroid *Dynamena pumila* (L., 1758). Biology Bulletin Reviews 9: 250-266. DOI: 10.1134/S2079086419030022.

De Ortiz, D.O., Gavioli, I.L., Bersano, J.G.F. 2021. Feeding rates and prey preference in *Octopus americanus* paralarvae fed with different prey densities and types, Artemia, copepods, and zoeae. Aquaculture International 29: 779-800. DOI: 10.1007/s10499-021-00657-x.

Ebrahimzadeh, I. 2009. Analysis of the recent droughts and lack of water in hamoon lake on Sistan economic functions. Iran-Water Resources Research 5: 71-76.

El-Bermawi, N., Baxevanis, A.D., Abatzopoulos, T.J. 2004. Salinity effects on survival, growth and morphometry of four Egyptian Artemia populations (International Study on Artemia. LXVII). Hydrobiologia 523: 175-188. DOI: 10.1023/B:HYDR.0000033124.49676.5c.

El-Sayed, H.S., El-Dahhar, A.A., El-Zaeem, S.Y. 2022. Evaluation of short- and long-term enrichment of *Artemia franciscana* with mixed algae or DHA oil emulsion for improving *Dicentrarchus labrax* larvae aquaculture. Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali 33: 889-902. DOI: 10.1007/s12210-022-01109-1.

Ekonomou, G., Lolas, A., Castritsi-Catharios, J., Neofitou, C., Zouganelis, G.D., Tsiropoulos, N., Exadactylos, A. 2019. Mortality and effect on growth of *Artemia franciscana* exposed to two common organic pollutants. Water 11: 1614. DOI: 10.3390/w11081614.

Eryalcin, K. 2018. Effects of different commercial feeds and enrichments on biochemical composition and fatty acid profile of rotifer (*Brachionus plicatilis*, Muller1786) and *Artemia Franciscana*. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 18: 81-90. DOI: 10.4194/1303-2712-v18_1_09.

Gajardo, G.M., Beardmore, J.A. 2012. The brine shrimp *Artemia*: adapted to critical life conditions. Frontiers in Physiology 3: 185. DOI: 10.3389/fphys.2012.00185.

Greenlee, L.F., Lawler, D.F., Freeman, B.D., Marrot, B., Moulin, P. 2009. Reverse osmosis desalination: water sources, technology, and today's challenges. Water Research 43: 2317-2348. DOI: 10.1016/j.watres.2009.03.010

Hossein Khanjani, M., Hajirezaee, S. 2020. A review of the use of unconventional waters in the aquaculture industry. Journal of Water and Wastewater Science and Engineering 5: 4-13. DOI: 10.22112/jwwse.2020.177096.1154.

Hudaidah, S. 2009. Biometry of *Artemia franciscana* from three different batches. Journal of Coastal Development 12: 135-141.

Hussain, M.I., Muscolo, A., Farooq, M., Ahmad, W. 2019. Sustainable use and management of non-conventional water resources for rehabilitation of marginal lands in arid and semiarid environments. Agricultural Water Management 221: 462-476. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.04.014.

Jafaryan, H. 2016. The study of feeding parameters of Beluga (*Huso huso*) larvae fed with *Artemia* nauplii and *Daphnia*. Aquatic Animals Nutrition 2: 15-27. DOI: 15-27. 10.22124/janb.2016.3147 (In Persian).

Jafaryan, S., Rangraz, M., Jafaryan, H., Makhtomi, N., Davoodipour, A., 2018. Changes in growth factors of Beluga, *Huso huso* larvae fed with bioencapsulated *Artemia* enriched by a probiotic, protexin. Aquatic Animals Nutrition 4: 13-25. DOI: 10.22124/janb.2016.2965.

Karimidastenaei, Z., Avellán, T., Sadegh, M., Kløve, B., Haghighi, A.T. 2022. Unconventional water resources: Global opportunities and challenges. Science of the Total Environment 827: 1-15. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.154429.

Krishnakumar, V., Asha A., Sivagnanam, S., Munuswamy, N. 2014. Influence of physico-chemical variables on the distribution of the invader *Artemia franciscana* Kellogg, 1906 (Crustacea: Anostraca) in the salterns of Kelambakkam, Southeast coast of India. International Journal of Artemia Biology 4: 18-29.

Kumar, G.R., Babu, D. 2015. Effect of light, temperature and salinity on the growth of *Artemia*. International Journal of Engineering Science Invention 4: 7-14.

Kulasekarapandian, S., Ravichandran P. 2003. *Artemia* cyst production at Kelambakkam near Chennai. Journal of Marine Biology Association India 45: 166-177.

Lim, L.C., Dhert, P., Sorgeloos, P. 2003. Recent developments in the application of live feeds in the freshwater ornamental fish culture. Aquaculture 227: 319-331. DOI: 10.1016/S0044-8486(03)00512-X.

Lenz, P.H. 1987. Ecological studies on *Artemia*: a review. In: Sorgeloos, P., Bengtson, D.A., Decleir, W., Jaspers, E. (Eds), *Artemia* Research and its Applications, Vol. 3. Ecology, Culturing, Use in Aquaculture. Universa Press, Wetteren, Belgium, 5-18.

Lisitsin, D., Hasson, D., Semiat, R. 2008. The potential of CO_2 stripping for pretreating brackish and wastewater desalination feeds. Desalination 222: 50-58. DOI: 10.1016/j.desal.2007.02.063.

Litvinenko, L.I., Kozlov, A.V., Kovalenko, A.I., Bauer, D.S. 2007. Salinity of water as a factor to determine the development of the brine shrimp *Artemia* populations in Siberian lakes. Hydrobiologia 576: 95-101. DOI: 10.1007/s10750-006-0296-8.

Mabidi. A., Bird, M.S., Perissinotto, R. 2018. Increasing salinity drastically reduces hatching success of crustaceans from depression wetlands of the semi-arid Eastern Cape Karoo region, South Africa. Scientific Reports 8: 1-10. 5983. DOI: 10.1038/s41598-018-24137-0.

Madkour, M., Dawood, M.A.O., Sorgeloos, P., Sewilam, H. 2023. Effects of desalination brine on the fecundity of brine shrimp *Artemia franciscana* fed on

rice bran. Annals of Animal Science 23: 869-875. DOI: 10.2478/aoas-2023-0033.

Marinho-Soriano, E., Azevedo, C.A.A., Trigueiro, T.G., Pereira, D.C., Carneiro, M.A.A., Camara, M.R. 2011. Bioremediation of aquaculture wastewater using macroalgae and Artemia. International Biodeterioration & Biodegradation 65: 253-257. DOI: 10.1016/j.ibiod.2010.10.001.

Matos, A.P., Moecke, E.H.S., Sant'Anna, E.S. 2017. The use of desalination concentrates as a potential substrate for microalgae cultivation in Brazil. Algal Research 24: 505-508. DOI: 10.1016/j.algal.2016.08.003.

Mohr, F. 1856. Lehrbuch der Chemisch-Analytischen Titrirmethode. Nabu Press, 614 p. (In German).

Munoz, J., Pacios, F. 2010. Global biodiversity and geographical distribution of diapausing aquatic invertebrates: the case of the cosmopolitan brine shrimp, *Artemia* (Branchiopoda, Anostraca). Crustaceana 83: 465-480.

Nipa, S.A., Hasan, R., Naser, M.N. 2016. Biometrical study of brine shrimp (*Artemia franciscana*) with special emphasis on hatching efficiency and hatching percentage in tropical condition at Bangladesh. European Scientific Journal 12: 123-130. DOI: 10.19044/esj.2016.v12n18p123

Ogburn, N.J., Duan, L., Subashchandrabose, S.R., Sorgeloos, P., O'Connor, W., Megharaj, M., Naidu, R. 2023. Agricultural wastes for brine shrimp Artemia production: A review. Reviews in Aquaculture 15: 1159-1178. DOI: 10.1111/raq.12784.

Omerspahic, M., Al-Jabri, H., Siddiqui, S.A., Saadaoui, A. 2022. Characteristics of desalination brine and its impacts on marine chemistry and health, with emphasis on the Persian Gulf: A review. Frontiers in Marine Science 9: 845113. DOI: 10.3389/fmars.2022.845113.

Oron, G., Appelbaum, S., Guy, O. 2023. Reuse of brine from inland desalination plants with duckweed, fish and halophytes toward increased food production and improved environmental control. Desalination 549: 116317. DOI: 10.1016/j.desal.2022.116317.

Pacheco, G.K.N., Maldonado, N.S.S., Alta, R.Y.P., Vitorino, H.A. 2021. Short exposure of *Artemia salina* to group-12 metals: Comparing hatchability, mortality, lipid peroxidation, and swimming speed. Ecotoxicology and Environmental Safety 213: 112052. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.112052.

Saji, A., Al Dhaheri, S., Shah, J.N., Soorae, P.S. 2016. Influence of chemical parameters on *Artemia* sp. (Crustacea: Anostraca) population in Al Wathba Lake in the Abu Dhabi Emirates, UAE. International Journal of Aquatic Biology 4: 87-95. DOI: 10.22034/ijab.v4i2.157.

Salma, U., Uddowla, M.H., Lee, G., Yeo, Y., Kim, H.W. 2012. Effects of pH change by CO2 induction and salinity on the hatching rate of *Artemia franciscana*. Fisheries and Aquatic Sciences 15: 177-181. DOI: 10.5657/FAS.2012.0177.

Sánchez, A.S., Nogueira, I.B.R., Kalid, R.A. 2015. Uses of the reject brine from inland desalination for fish farming, Spirulina cultivation, and irrigation of forage shrub and crops. Desalination 364: 96-107. DOI: 10.1016/j.desal.2015.01.034.

Sardar Shahraki, A., Hashemi Tabar, M., Aliahmadi, N. 2020. Assessment the effects of drought on economic development and planning optimal strategy for sustainable livelihood in Sistan. Journal of Regional Planning 10: 51-64.

Sellami, I., Naceur, H.B., Kacem, A. 2020a. Study of cysts biometry and hatching percentage of the brine shrimp *Artemia*

salina (Linnaeus, 1758) from the Sebkha of Sidi El Hani (Tunisia) according to successive generations. Aquaculture Studies 21: 41-46. DOI: 10.4194/2618-6381-v21_1_05

Sellami, I., Charmantier, G., Naceur, H.B., Kacem, A., Lorin-Nebel, C. 2020b. Osmoregulatory performance and immunolocalization of Na+/K+-ATPase in the branchiopod *Artemia salina* from the Sebkha of Sidi El Hani (Tunisia). Tissue Cell 63: 101340. DOI: 10.1016/j.tice.2020.101340.

Sharahi, A.R., Zarei, S. 2016. Mutual effect of light and turbidity on hatching of *Artemia franciscana* cysts. International Journal of Fauna and Biological Studies 3: 03-06.

Soleimani-Sardo, M., Khanjani, M.H. 2022. Utilization of unconventional water resources (UWRS) for aquaculture development in arid and semi-arid regions – a review. Annals of Animal Science 23: 11-23. DOI: 10.2478/aoas-2022-0069.

Sorgeloos, P., Dhert, P., Candreva, P. 2001. Use of the brine shrimp, *Artemia* spp., in marine fish larviculture. Aquaculture 200: 147-159. DOI: 10.1016/S0044-8486(01)00698-6

Soundarapandian, P., Saravanakuma, G. 2009. Effect of different salinities on the survival and growth of *Artemina* spp. Current Research Journal of Biological Sciences 1: 20-22.

Speer, F.W., Weider, L.J. 2018. Examining population-specific hatching cues of salinity and light for *Artemia franciscana*. Hydrobiologia 805: 391-397. DOI: 10.1007/s10750-017-3326-9

Sserwadda, M., Kagambe, E., Van Stappen, G. 2018. The brine shrimp *Artemia* survives in diluted water of Lake Bunyampaka, an inland saline lake in Uganda. Water 10: 189-198. DOI: 10.3390/w10020189.

Thangal, S., Nivetha, M., Muttharasi, C., Anandhan, K., Muralisankar, T. 2021. Effects of acidified seawater on biological and physiological responses of *Artemia franciscana*. Marine Pollution Bulletin 169: 112476. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112476.

Torrentera, L., Dodson, S.L. 2004. Ecology of the brine shrimp *Artemia* in the Yucatan, Mexico, Salterns. Journal of Plankton Research 26: 617-624. DOI: 10.1093/plankt/fbh057

Triantaphyllidis, G.V., Criel, G.R.J., Abatzopoulos, T.J., Sorgeloos, P. 1997. International study on *Artemia*. LIII. Morphological study of *Artemia* with emphasis to old world populations. I. Bisexual populations. Hydrobiologia 357: 139-153. DOI: 10.1023/A:1003190905100.

Vanhaecke, P., Tackaert, W., Sorgeloos, P. 1987. The biography of *Artemia*: an update review. In: Sorgeloos, P., Bengston, D.A., Decleir, W., Jaspers, E. (Eds.) Artemia research and its application. Vol. 1. Morphology, genetics, strain characterization, toxicology. Universe Press, Wetteren, Belgium, 129-155.

Van Stappen, G., Sui, L., Hoa, V.N., Tamtin, M., Nyonje, B., Rocha, R.D., Sorgeloos, P., Gajardo, G. 2020. Review on integrated production of the brine shrimp Artemia in solar salt ponds. Reviews in Aquaculture 12: 1054-1071. DOI: 10.1111/raq.12371.

Van Stappen, G. 2003. Production, Harvest and Processing of *Artemia* from Natural Lakes. In: Støttrup, J.G., McEvoy, L.A., (Eds.). Live Feeds in Marine Aquaculture. Blackwell Publishing, Oxford, UK. 122-144.

Van Stappen, G. 1996. Use of cysts. Manual on the production and use of live food for aquaculture. In: FAO Fisheries Technical Paper 361, 107-136.

Veeramani, T., Santhanam, P., Manickam, N., Rajthilak, C. 2019. Introduction to Artemia Culture. In: Santhanam, P., Begum, A., Pachiappan, P. (Eds.). Basic and Applied Zooplankton Biology, Springer Singapore, 442p. DOI: 10.1007/978-981-10-7953-5.

Versichele, D., Sorgeloos, P. 1980. Controlled production of Artemia cysts at laboratory scale. In: Persoone, G., Sorgeloos, P, Roels, A., Jaspers, E. (Eds.). The brine shrimp *Artemia*. Vo1. 3, Ecology, culturing, use in aquaculture. Universa Press, Wetteren (Belgium).

Wasonga, A.G., Olendi, R.J. 2017. Effect of different salinity levels on the hatchability and survival of brine shrimp, *Artemia salina* (Linnaeus, 1758) from Malindi, Kenya. African Journal of Education, Science and Technology 3: 1-5.

Zarei Shamsabadi, R., Esmaeili Fereidouni, A., Masoudi Asil, S. 2022. Comparative effects of the arachidonic acid enrichment of the concentrated food and live feed on growth rate and reproductive indices in zebrafish, *Danio rerio*. Aquatic Animals Nutrition 8: 67-79. DOI: 10.22124/janb.2023.22550.1171 (In Persian).